

Nos encontramos en un mundo en el que las especies se están extinguiendo (por desidia, por afán de explotación, por la búsqueda interminable de "progreso", etc.) a un ritmo mayor del que permitiría su sustitución por medio de procesos naturales. Nadie puede predecir a lo que abocará realmente esta situación, pero al sufrir un empobrecimiento la naturaleza, también le cuesta cada vez más proporcionarnos esos servicios gratuitos a los que estamos acostumbrados, como son el depurar el aire y el agua, darnos alimentos, reciclar los desperdicios, proteger las cosechas de las plagas, nutrir el suelo, alegrarnos con la belleza de los pájaros y de las mariposas, etc.

Paul R. Ehrlich es profesor de ciencias biológicas y de estudios de población en la Universidad de Stanford. Experto en ecología humana y evolución, ha escrito numerosos libros de divulgación sobre estos temas, entre los que destaca *The Population Bomb*. Anne R. Ehrlich es asimismo autora de múltiples artículos y libros sobre demografía y medio ambiente, y ha sido asesora del gobierno de los EE.UU. en el informe *Global 2000*. Es coautora con Paul R. Ehrlich del libro *La explosión demográfica*, publicado en esta colección.







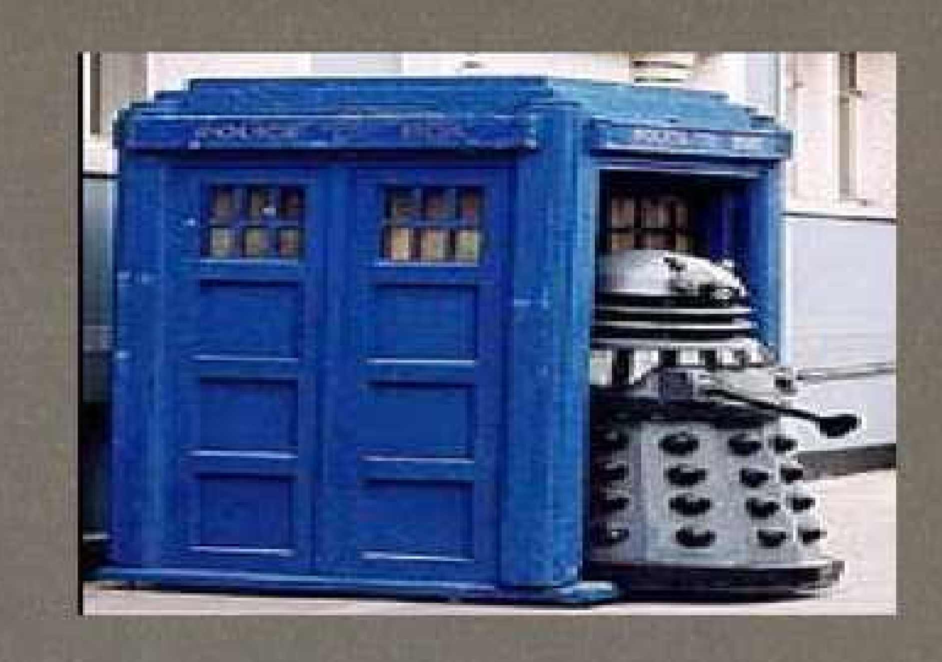


Extinción I

La desaparición de las especies vivientes en el planeta

Paul R. Ehrlich
Anne H. Ehrlich

Biblioteca
Científica
Salvat





Extinción I

Biblioteca
Científica
Salvat

Extinción I

La desaparición de las especies vivientes en el planeta

Paul R. Ehrlich
Anne H. Ehrlich

SALVAT

Versión española de la obra original inglesa
Extinction, publicada por Random House, Nueva York

Traducción: Josep Cuello y Purificación Mayoral
Diseño de cubierta: Ferran Cartes / Montse Plass
Foto de cubierta: Zardoya Press-foto / M. Riboud

ISBN: 84-345-8880-3 (Obra completa)
ISBN: 84-345-8978-8 (Volumen 98)
Depósito Legal: B-9198-1995
Publicada por Salvat Editores, S.A., Barcelona
Impresa por Printer, i.g.s.a. Mayo 1995
Printed in Spain

ÍNDICE

PREFACIO

LOS ARRANCARREMACHES

Mientras usted se dirige a su avión desde la terminal del aeropuerto, repara en un individuo subido a una escalera que se dedica a arrancar remaches de las alas. Un tanto mosqueado, se aproxima usted al arrancador de remaches y le pregunta simplemente qué está haciendo.

«Trabajo para la compañía aérea Growthmanía Intercontinental», le informa el personaje, «y la compañía ha descubierto que puede vender estos remaches a dos dólares la pieza».

«Pero, ¿cómo sabe que no debilitará fatalmente el ala al hacer eso?», le pregunta usted.

«No se preocupe», le responde. «Estoy seguro de que el fabricante construyó un avión mucho más fuerte de lo que en realidad es necesario, de modo que esto no es perjudicial. Además, he sacado bastantes remaches de este ala y todavía no se ha caído. Aerolíneas Growthmanía necesita dinero; si yo no arrancara los remaches, Growthmanía no podría continuar su expansión. Y yo necesito la comisión que me paga: ¡cincuenta centavos por remache!»

«¡Pero, pero usted ha perdido el juicio!»

«Le digo que no se preocupe; sé lo que hago. En realidad, yo también voy a viajar en este vuelo, de modo que, como usted puede comprobar, no existe el más mínimo motivo de preocupación.»

Claro está, una persona sensata volvería a la terminal, daría parte del peculiar personaje y de Aerolíneas Growthmanía a la FAA, y reservaría plaza en otro sistema de transporte. Por supuesto, nadie está obligado a viajar en avión. Pero, por desgracia, todos

somos pasajeros de una inmensa cosmonave en la que no nos queda más alternativa que volar. Y, desafortunadamente, esta cosmonave está llena de arrancadores de remaches que proceden de forma análoga a la que se acaba de describir.

Entre los arrancarremaches de la cosmonave Tierra figuran personas como el presidente de Estados Unidos, el presidente del Partido Comunista de la URSS y otros muchos políticos y cargos decisorios, así como grandes y pequeños hombres de negocios; e, inadvertidamente, casi todos los demás habitantes del planeta, entre ellos, usted y nosotros. Philip Handler, presidente de la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos, es un destacado arrancarremaches, del mismo modo que lo es el industrial Daniel Ludwig (dedicado íntegramente a talar la pluvisilva amazónica); el senador Howard Baker, enemigo del pez babosa; y el vicepresidente George Bush, partidario de la guerra nuclear. Otras figuras relevantes en la lista de arrancarremaches son los balleneros y madereros japoneses, muchos ejecutivos de los servicios públicos, los magnates de la industria automovilística de Detroit, los directores de la corporación AMAX, la mayoría de los economistas, el gobierno brasileño, el ministro del Interior James Watt, los directores editoriales de *Science*, *Scientific American* y el *Wall Street Journal*, los propietarios de la industria pesticida, algunos de los altos burócratas del Ministerio de Agricultura de Estados Unidos, los funcionarios de la Sociedad Entomológica de América, las facultades de ingeniería de todo el mundo, el cuerpo de ingenieros del ejército y la jerarquía de la iglesia católica.

En realidad, la mayoría de estas personas está simplemente desinformada, lo cual proporciona un buen motivo para escribir un libro sobre el proceso y las consecuencias de arrancar remaches.

«Arrancar remaches» de la cosmonave Tierra consiste en fomentar e instigar el exterminio de especies y poblaciones de seres vivos no humanos. El león de Europa, la paloma migratoria, el periquito de Carolina y la mariposa *Cercyonis sthenele* son una muestra de los muchos «remaches» irremisiblemente perdidos; el chimpancé, el gorila de montaña, el tigre de Siberia, la ballena franca y el cóndor de California destacan entre los remaches que ya están flojos. El resto de las quizá diez millones de especies y miles de millones de poblaciones distintas que existen en la actualidad subsisten con mayor o menor firmeza. Algunas de estas especies proporcionan, o podrían proporcionar, importantes beneficios directos a la humanidad ya que todas ellas forman parte de toda una serie de servicios públicos gratuitos, sin los que la sociedad no podría sobrevivir.

Los sistemas ecológicos de la Tierra, que constituyen estos servicios fundamentales son análogos a las partes de un avión apto para el ser humano. No obstante, los ecosistemas son mucho más complejos que las alas o los motores de un aeroplano, ya que los ecosistemas tienden a tener subsistemas redundantes y otras características de «diseño» que les permiten seguir funcionando después de haber sufrido graves daños. Puede pensarse que una docena de remaches, o una docena de especies, a lo mejor no se echa de menos, pero un decimotercer remache arrancado de un *flap* del ala, o la extinción de una especie clave en el reciclado del nitrógeno, podría acarrear un grave accidente.

En la mayoría de los casos, el ecólogo no posee mayor información para predecir las consecuencias de la extinción de una determinada especie, que la que posee el pasajero de un avión para evaluar la pérdida de un remache. Sin embargo, ambos pueden prever fácilmente los resultados que provocará a largo plazo el continuo empuje de las especies hacia la extinción, o el arranque de un remache tras otro. Hoy día, ningún pasajero de avión sensato aceptaría una pérdida ininterrumpida de remaches en los vehículos a reacción. Probablemente, las actitudes cambiarán con el tiempo, y entonces, ningún pasajero de la cosmonave llamada Tierra aceptará una pérdida constante de poblaciones o especies de seres vivos no humanos.

Durante buena parte de los miles de millones de años que los seres vivos habitan en este planeta, los sistemas ecológicos han estado bajo lo que la industria aeronáutica calificaría de «mantenimiento progresivo». Arrancados o desgastados, los remaches han sido reemplazados de inmediato; en realidad, durante mucho tiempo, nuestra cosmonave se vio reforzada con la inserción de más remaches que los que se perdían. Hace sólo unos diez mil años que se han puesto de manifiesto indicios de que el proceso podría haberse invertido de modo más o menos permanente. En esa época, una especie, *Homo sapiens*, empezó su meteórico ascenso a la dominación del planeta. Por el contrario, en los últimos cincuenta años se ha hecho evidente que la humanidad ha estado empujando las especies y las poblaciones a la extinción, a un ritmo mucho mayor que el del agotamiento natural, y muy por encima de la tasa de reemplazo que pueden llevarse a cabo mediante procesos naturales. En los últimos veinticinco años más o menos, la disparidad entre la tasa de pérdida y la tasa de reemplazo se ha vuelto alar-

mante, así que de no tomarse alguna medida, el proceso de extinción puede llegar a ser catastrófico para la humanidad.

Lamentablemente, el tipo de catástrofe es de difícil predicción. Con la naturaleza progresivamente empobrecida, su capacidad de proporcionar un clima moderado, limpiar el aire y el agua, reciclar residuos, proteger los cultivos de las plagas, reponer suelos, y muchas actividades más se deteriorarán progresivamente. La población humana crecerá al mismo tiempo que disminuye la capacidad de la Tierra para sustentar personas. El aumento de las tasas de mortalidad y una disminución de la calidad de vida conducirán a un desmoronamiento de la sociedad postindustrial, que puede sobrevenir de forma tan gradual que quizá no sea identificable en el momento de su llegada.

Como es lógico, esta catástrofe final puede producirse fácilmente. Por ejemplo, la destrucción de los ricos complejos de especies de la cuenca del Amazonas provocaría rápidos cambios en las pautas climáticas mundiales. Asimismo, la agricultura, el ser humano, y los alimentos en sí dependen en gran medida de la estabilidad del clima. Esta falta de alimentos, junto a otro tipo de elementos vitales para el ser humano podrían desembocar en una guerra termonuclear capaz de extinguir la civilización.

Por lo tanto, es necesario frenar la tasa acelerada de extinción. Esto no será fácil ya que exigirá la educación y la acción concertada de centenares de millones de personas. No obstante, ninguna tarea se antepone a éstas en importancia, porque la extinción de otros seres vivos ha de ser detenida antes de que la estructura viva de nuestra cosmonave sea tan débil que pueda producir la desaparición de todo ser vivo, incluido el ser humano.

Al Homo sapiens, *que a través de la extinción de las demás especies se pone en peligro a sí mismo.*

PRIMERA PARTE

INTRODUCCIÓN

1. ¿HA DE LAMENTARSE LA PÉRDIDA DE LOS DINOSAURIOS?

Lo peor que puede ocurrir —ocurrirá [en los 80]— no es el agotamiento de la energía, el colapso económico, la guerra nuclear limitada, o la expansión de un gobierno totalitario. Estas catástrofes serían terribles para el ser humano, pero se pueden reparar al cabo de unas pocas generaciones. El único proceso en marcha, en los años 80, que llevará millones de años corregir, es la pérdida de diversidad genética y de especies debido a la destrucción de los hábitats naturales. Nuestros descendientes probablemente no nos perdonarán tamaño desliz.

E. O. WILSON,
Harvard Magazine,
enero-febrero, 1980

En una ladera despejada del bosque ribereño que desciende hacia el lago Tanganica, se encuentra Flo acicalando a su hija Fifi. Junto a ellas está sentado Freud, hijo de Fifi, y Flint el menor de los hijos de Flo. Freud, todavía un bebé, está en brazos de su madre y Flint, más mayor, acicala a su hermana. El pequeño grupo de chimpancés parece ajeno a la idílica escena, el lago que centellea por entre los resquicios del follaje, el vuelo de las mariposas *Naja*, de colores metálicos, el canto de las aves. También parecen ajenos a nuestra presencia y a la de las dos estudiantes de la Universidad de Stanford que toman notas sobre el comportamiento de estos animales.

De repente, un rugido acaba con el encanto. Los chimpancés se dispersan, trepando a los árboles, a la vez que Figan —un macho joven que se ha convertido en seguida en individuo dominante del grupo irrumpe en el claro, corriendo a cuatro patas y con el pelo erizado. En un aparente ataque de furia, se precipita sobre una piedra de más de dos kilos y la lanza a unos 13 metros con la misma facilidad que un hombre arrojaría una pelota de tenis. Permane-

cemos completamente inmóviles mientras Figan coge una rama muerta de palma y vapulea primero a una estudiante, luego a la otra. Después se abalanza sobre nosotros (estamos justo a su lado) y se detiene frente a Paul, levanta la rama y entonces duda, al tiempo que se miran uno a otro fijamente. Acto seguido, Figan deja caer el brazo y da media vuelta, aparentemente calmado de su «enojo». No hay heridos —en realidad, nadie ha resultado nunca lesionado por un chimpancé. Pero, en este caso, nuestra adrenalina se ha disparado. Los investigadores dicen que, al parecer, los chimpancés notan la diferencia entre hombres y mujeres, y que es menos probable que actúen agresivamente contra aquéllos, aunque un adulto macho podría derribar a un hombre muy fuerte sin grandes dificultades.

Este incidente ocurrió a principios de los años setenta en la reserva de Río Gombe, fundada la década anterior por la behaviorista británica Jane Goodall, como base para el estudio del comportamiento del chimpancé. Paul y yo estábamos empezando un trabajo a largo plazo sobre la biología de las poblaciones de unas mariposas de bosque, en la esperanza de que la presencia de los famosos chimpancés nos brindara cierta protección para el lugar. Encontrar un sitio donde realizar una investigación a largo plazo, en las selvas tropicales, se había convertido en algo cada vez más complicado, porque tales selvas estaban (y aún están) sufriendo un asedio intensivo por parte de las poblaciones en expansión de los países tropicales pobres, y los intereses comerciales de las naciones ricas de las zonas templadas. La mayoría de las reservas africanas se mantienen para proteger a los grandes animales de sabana, como leones, elefantes, jirafas y antílopes. Así que, como ya nos habíamos visto obligados a abandonar un puesto de investigación en la selva tropical de Sudamérica, decidimos hacer un segundo intento en Gombe, Tanzania.

Ni siquiera trabajando catorce horas diarias en numerar mariposas, soltarlas, observar cómo actúan, tomar notas de campo y tabular datos, es posible ignorar la presencia de los chimpancés (¡y no digamos los babuinos!). Antes de llegar al Gombe, nos resistíamos a imputar caracteres humanos a estos animales, y habíamos determinado contemplarlos con ojos «desapasionados» de científico. Nuestra resolución duró unos diez minutos. Se esfumó en el preciso instante en que un joven chimpancé, asustado, buscó refugio en los brazos de su madre y ésta le tranquilizó precisamente con el tipo de caricias que una madre humana usaría en circunstancias similares.

La esperanza de Jane Goodall es que la observación de estos animales, tan cautivadoramente parecidos al ser humano, arroje alguna luz sobre el comportamiento del *Homo sapiens*. Tanto si esa expectativa se satisface como si no, el comportamiento de los chimpancés es tan fascinante que la mayoría coincidiríamos en que la existencia de chimpancés en estado salvaje es fundamental y vital para el medio ambiente humano. De hecho, nos resultaba irresistible observarlos, lo cual iba en detrimento a veces de nuestra propia investigación.

Mientras estábamos en Gombe, nos produjo una profunda impresión cierto incidente observado por los investigadores. Una hembra desconocida, que llevaba una cría joven, se introdujo en el territorio del grupo local de chimpancés. Los machos del grupo la atacaron, la echaron por los suelos y la pisotearon. El bebé quedó atrapado bajo su madre y resultó gravemente herido. Los machos lo cogieron, lo mataron y se lo fueron pasando de unos a otros, mientras comían cada uno de ellos un trocito del cuerpo. Después, según los observadores, los machos «parecían saber que habían hecho algo malo». Uno de ellos cogió el cuerpo de la cría, lo llevó unas dos millas bosque adentro y lo depositó delante de la puerta del laboratorio de Jane Goodall.

¿Sabían los chimpancés que estaban siendo estudiados? ¿Puede pasar por la mente de un chimpancé el concepto de «ser estudiado»? ¿Se sentían «culpables»? ¿Pensaban que Jane y sus colegas eran una especie de dioses? ¿Fue todo aquello pura coincidencia o una respuesta a alguna pauta no detectada, facilitada por los propios investigadores? Es bastante difícil interpretar este inquietante incidente.

No obstante, es indiscutible que los chimpancés figuran entre los parientes más próximos al ser humano y que poseen ciertas facultades intelectuales que superan las equivalentes de muchos seres humanos.

Algunos chimpancés pueden realizar ciertos tests de inteligencia mejor que muchas personas. Un chimpancé ha resuelto problemas con cinco niveles de ambigüedad, cuando hay niños y algunos adultos humanos que se quedan perplejos ante tests con sólo tres niveles. Si hay una especie por la que el *Homo sapiens* debería tener empatía, esta es *Pan troglodytes*, el chimpancé. Y sin embargo, están siendo extinguidos.

Jane Goodall viajó por vez primera al Gombe en 1960 para iniciar lo que parecía una misión imposible, ganarse la confianza de

los chimpancés con el fin de poder estudiarlos. Cuando llegó, el hábitat forestal de los chimpancés se extendía unos cien kilómetros al Este, desde las orillas del lago Tanganica. Diez años después, Jane había conseguido fama mundial debido a su éxito con los chimpancés. Durante ese mismo período, la explosión demográfica de Tanzania allanó el bosque y estableció granjas en la práctica totalidad de esos cien kilómetros, reduciendo el hábitat del chimpancé al área vigilada de la reserva, una estrecha faja de tierra situada junto al lago, que ocupa una extensión de menos de dos kilómetros desde la orilla hasta la primera línea de montañas que se encuentra en el interior.

El potencial africano para el crecimiento explosivo de la población es enorme. A diferencia de la mayor parte de las áreas pobres del mundo, el África tropical aún no ha recibido el impacto pleno de la tecnología médica occidental. Resultado de ello son unas relativamente altas tasas de defunción, de alrededor de dieciocho fallecimientos al año por mil individuos, concretamente en la población del Este de África, frente a un trece por mil correspondiente a la zona del sudeste asiático y un nueve por mil en el área tropical sudamericana.

Si los modernos métodos de control de la mortalidad se consolidan en África, como ha ocurrido en otros continentes, se producirá un incremento sustancial en la tasa de crecimiento de la población, que iría desde la presente de un 3 % anual, más o menos, hasta casi un 4 %, a menos que se produzca una disminución compensatoria en la tasa de nacimientos.

Bajo una presión de población humana tan elevada, es extremadamente difícil que los chimpancés puedan sobrevivir en la naturaleza, así que su destino último es la extinción. Desde luego, no desaparecen debido a la caza indiscriminada, sino porque, como en el Gombe, se destruyen poco a poco los ecosistemas de los que ellos son componentes vivos.

Posiblemente, estos animales sobrevivirán en zoos y laboratorios, al menos durante un tiempo, pero los grupos naturales de chimpancés no durarán mucho. Todo lo que quedará de ellos en un futuro serán las películas y reportajes en los que se les ve protegerse entre sí, ser tolerantes con sus bulliciosos retoños, emplear palitos para extraer alimento oculto en angostas cavidades, defender sus territorios, ayudar a sus heridos[1] y comportarse de ese modo peculiar y característico que evoca de las maneras y costumbres de sus parientes humanos.

¿POR QUÉ PROTEGER LAS ESPECIES EN PELIGRO?

Probablemente algunas personas sensibles se preocuparán y lamentarán la pérdida, pero sólo unos pocos se darán cuenta de que la inminente desaparición de esta notable especie[2] amenazada, no es sólo una tragedia, sino un síntoma de la catástrofe planetaria que se avecina. Tras de los chimpancés seguirán los demás elementos vivos de su ecosistema, componentes, todos ellos, de los cruciales sistemas sustentadores de la vida en la Tierra.

Cuatro son los argumentos principales para la preservación de esta especie en la cosmonave Tierra. Uno es la preservación por simple compasión. Este argumento se apoya en la idea de que los demás productos de la evolución también tienen derecho a existir, ya que las necesidades y caprichos de los seres humanos no son la única base que sustenta las decisiones éticas.

Un segundo argumento es que hay que preservar las demás especies por su belleza, su valor simbólico o interés intrínseco, lo cual constituye el argumento de los estetas. El chimpancé, el elefante, los peces multicolores de los arrecifes, las mariposas *Morpho,* de un azul iridiscente, y las plantas de bellas flores o formas extrañas, parecen atraer automáticamente a la mayoría de individuos de la cultura occidental, cuando no a la mayoría de los seres humanos. Y muchas de estas personas, sobre todo biólogos, encuentran belleza en sitios tan inverosímiles como las delicadas escamas de las alas del mosquito transmisor de la malaria, los lunares iridiscentes de una garrapata africana o el delicado esculpido de la «concha» de una diatomea unicelular microscópica.

El tercer argumento es fundamentalmente económico: preservar las ballenas porque se pueden obtener X dólares al año si se explotan sobre la base de un rendimiento continuado y salvar la jungla del Amazonas por el inmenso valor de los alimentos y drogas aún no descubiertos que podrían extraerse de las plantas amazónicas. En resumen, determinadas especies proporcionan beneficios *directos* al *Homo sapiens* y por tal motivo deben ser preservadas.

Los tres primeros argumentos para la preservación de las demás especies son fácilmente comprensibles, hasta para quienes no los encuentran persuasivos. El cuarto argumento no es tan conocido, ni siquiera suele ser comprendido, pues se refiere a los beneficios *indirectos* para la humanidad. Este argumento se basa en la creen-

cia de que las demás especies son componentes vivos de sistemas ecológicos vitales (ecosistemas) que proporcionan a la humanidad servicios gratuitos indispensables —servicios cuya interrupción sustancial conduciría inevitablemente al colapso de la civilización. Al favorecer la extinción de las especies, ya sea de forma deliberada o por ignorancia, el *Homo sapiens* se ataca a *sí mismo;* amenazando a su propia especie con el exterminio. Tal es el argumento más importante, personificado en la analogía del arrancarremaches del prólogo del presente libro.

Extinciones siempre ha habido

Desde luego, existen argumentos en contra de la preservación de las especies, esgrimidos por quienes no consideran fatal que la humanidad colabore en la desaparición del escenario de otras especies. Quizás el más extendido es el de que la extinción es un proceso evolutivo perfectamente natural, que se ha venido produciendo durante millones de años con o sin la participación humana. ¿Por qué hay que preocuparse si en realidad se está ayudando a la naturaleza a seguir su curso?

Cuando se piensa en la evolución, se tiende a considerar nuevos tipos de seres vivos, producidos a partir de formas antiguas, es decir, en una especie (tipo) que con el tiempo se transforma en otra, o en dos o más especies que evolucionan donde antes sólo había una. Cuando en 1859 Charles Darwin expuso la teoría de la evolución junto a las correspondientes pruebas a su favor, no proponía sólo la selección natural como fuerza directriz del proceso evolutivo, sino que reconocía también la inevitabilidad de la extinción: «... como las nuevas formas se producen lenta y constantemente, a menos que admitamos que el número de formas específicas puede seguir aumentando perpetua y casi indefinidamente, es inevitable que haya grupos que se extingan».[3]

Antes de Darwin, la idea de la extinción ya había sido tratada por varios geólogos y naturalistas; sin embargo, a mediados del siglo XIX, el concepto resultaba escandaloso para la mayoría de personas. Se creía que todo ser vivo había sido diseñado por Dios según una secuencia de complejidad creciente y que las especies aparecieron en un único acto creador, así que la visión «creacionista» del origen de las especies no contemplaba la extinción. No obstante, actualmente parece haberse cerrado el ciclo; no sólo ya no escandaliza la idea de la extinción, sino que se toma el nombre de Darwin en vano cuando se pretende justificar el exterminio de las otras especies a manos del *Homo sapiens*.

Éste es el caso, por ejemplo, de un tal Witchell, asesor de relaciones públicas financieras y corporativas, que publicó un artículo en el New York Times (3 mayo, 1974), titulado «Give Me the Old-Time Darwin». El mensaje del artículo de Witchell proponía que ya que Darwin demostró que la extinción de las especies es connatural al proceso evolutivo, no existía razón para preocuparse por la desaparición de las especies: «Los darvinistas nos explican que las especies llegan y se van, que así es como experimenta la naturaleza con la vida. Los experimentos que triunfan sobreviven durante un tiempo; los fracasos desaparecen sin detrimento para nadie.»

Es evidente que quienes esgrimen este tipo de argumentos pasan por alto un dato importante, y es que la humanidad ya ha elevado la *tasa* de extinción de especies muy por encima de las tasas históricas de aparición de las mismas. Las especies desaparecen ahora mucho más deprisa de lo que aparecen, y la tasa de desaparición promete seguir aumentando vertiginosamente. La afirmación anterior recuerda la de aquel hombre que, al ver como el agua escapaba por unas grietas cada vez más anchas del muro de una gran presa, decía a las gentes que vivían río abajo, «no hay por qué preocuparse, después de todo, el agua siempre ha salido por el sobradero».

Se ha calculado que la tasa de extinción de especies de aves y mamíferos entre 1600 y 1975 ha sido entre cinco y cincuenta veces más elevada que la habida a lo largo de la mayoría de los eones de nuestro pasado evolutivo. Además, en las últimas décadas del siglo XX, se prevé que esa tasa aumente unas cuarenta a cuatrocientas veces más de «lo normal».[4] Para comprender el significado de estos cálculos, se deberían poseer ciertos conocimientos sobre qué son las especies, cómo han llegado a ser y cómo han desaparecido —un tema que se comentará en el capítulo siguiente.

¿Quién echa de menos a los dinosaurios?

Una posible respuesta a la advertencia de que la extinción está dejando atrás la formación de especies es que, después de todo, los dinosaurios se extinguieron y la humanidad no sufrió pérdida alguna. En realidad, cuando la discusión se desvía hacia la extinción,

suele hacerlo también hacia los dinosaurios. Un economista comentó en cierta ocasión que cualquier cosa podía conseguirse por una cierta cantidad de dinero. Nos desafió a que le dijéramos algo que no se pudiera obtener si se está dispuesto a pagar lo suficiente por ello. Le respondimos: «un *Tyrannosaurus rex*». Después de declarar (incorrectamente) que, con suficiente tiempo y dinero podría llegar a obtenerse uno de los dinosaurios carnívoros gigantes, comentó que los dinosaurios, al fin y al cabo no tenían ningún valor ya que se extinguieron y nadie los echó de menos. Este argumento se toma como punto de partida para no tener en cuenta el proceso de extinción de las especies actuales.

No obstante, esta línea de razonamiento no es nada convincente. Primero, en cierto sentido, los dinosaurios no se extinguieron del todo. El grupo que incluía los dinosaurios, los «reptiles iniciales» poseen actualmente representantes vivos,[5] como, por ejemplo los cocodrilos y aligatores. No se conoce muy bien el papel que los cocodrilos desempeñan en los ecosistemas de las marismas y estuarios, pero es posible que su importancia sea capital. Los aligatores, por ejemplo, son elementos fundamentales del ecosistema de las zonas inundadas de los Everglades de Florida. Con la cola, excavan agujeros de 3 a 30 metros de ancho que permiten recoger agua durante la estación seca. Estos «hoyos de aligator» llenos de agua permiten sobrevivir a una gran variedad de organismos acuáticos y semiacuáticos, como plancton, peces, ranas, tortugas y aligatores, hasta que la estación de las lluvias inunda de nuevo los Everglades.[6]

Un grupo aún más importante de parientes de los dinosaurios son las aves, descendientes directas de los dinosaurios. De hecho, hay científicos que consideran estas aves como dinosaurios vivos. Seguramente, se habría echado de menos a las aves de haber desaparecido sus progenitores sin dejar descendencia, tal como ocurrió a otros tipos de dinosaurios. El coronel Sanders no habría llegado nunca a rico, innumerables grupos de seres humanos no habrían podido acicalarse con plumas, las almohadas tendrían que haberse rellenado de paja hasta que alguien inventara la goma espuma, la observación de aves no podría entretener a millones de aficionados, y los poetas se habrían visto privados de una rica fuente de material para describir cantos y gráciles vuelos. Además, sin el ejemplo de las aves, los aeroplanos nunca se habrían inventado. Y mucho más grave, los insectos —en gran medida los más importantes depredadores y competidores del *Homo sapiens*— probablemente habrían aumentado su población con gran éxito. Realmente, hay que reconocer que la vida sin las aves habría sido muchísimo más rigurosa para el ser humano en un mundo dominado por los insectos, en el cual, la revolución agrícola, y en consecuencia, el desarrollo de la civilización, habría resultado imposible.[7]

Desde un enfoque estético, es lamentable la desaparición de los dinosaurios, ya que resultaría emocionante si en un parque nacional pudieran contemplarse los enormes y torpes brontosaurios, con sus cuarenta o cincuenta toneladas pastando por el campo, o una manada de ceratópsidos, o dinosaurios cornudos, vagando cual rinocerontes con tres cuernos gigantes. Con un poco de suerte, incluso se podría llegar a ver en algún pasto una pelea de ese poderoso depredador *Tyrannosaurus*, o ver planear un gigantesco pterosaurio con una envergadura de doce metros (el animal más grande que haya surcado nunca el aire). Ningún ser humano ha contemplado jamás esos fascinantes animales, pues desaparecieron 50 millones de años antes de que surgiera algo lejanamente parecido al *Homo sapiens*. Y, sin embargo, nadie parece preocuparse por ello.

Ahora bien, el que nadie eche de menos a los dinosaurios es sólo una cuestión menor. Ya que los dinosaurios se extinguieron en un momento en que los procesos evolutivos eran capaces de sustituirlos por mamíferos. Los enormes dinosaurios herbívoros fueron finalmente reemplazados por mamíferos herbívoros como el ciervo, el antílope, la oveja, la cabra, el búfalo y la vaca, algunos de los cuales han sido domesticados por el ser humano. Los grandes dinosaurios carnívoros, como el *Tyrannosaurus*, fueron sustituidos por miembros de la familia del pato, el perro y el oso.

Por otra parte, si los dinosaurios se hubieran extinguido y los mamíferos no hubieran evolucionado para desempeñar el papel que aquéllos representaban, el mundo habría sido realmente muy distinto ya que, al ser mamíferos, desde luego no habría existido la humanidad. En tal caso, la razón principal para *no* echar de menos ni a los dinosaurios ni a otros grupos de organismos extintos hace tanto tiempo, es que otros organismos evolucionaron para sustituirlos.

Las extinciones que se producen actualmente y que se espera se produzcan en el futuro, probablemente tendrán consecuencias mucho más graves que las que acontecieron en un pasado remoto. En primer lugar, a menos que se haga algo al respecto, las extinciones contemporáneas provocan una pérdida de especies en una proporción mayor de la diversidad biológica que existe en el mundo, que la perdida en las extinciones anteriores. Además, las mismas

actividades humanas, que son las causantes de la extinción actual, están empezando a bloquear los procesos regenerativos de esa diversidad. Es prácticamente imposible que grupos enteros de organismos logren sustituir tales pérdidas, si se diezma la flora y la fauna de la Tierra.

¿Echaríamos de menos el pez babosa?

Todo el mundo debería estar preocupado por el creciente desequilibrio entre la tasa de extinción y la de creación de especies, pero, ¿quiere ello decir que esta preocupación debería hacerse extensiva a *todas* las especies? ¿Tenía algún valor, por ejemplo, el pez babosa para los conservacionistas? ¿No fue una extravagancia tratar de frenar la presa de Tellico, en Tennessee, un proyecto de construcción valorado en muchos millones de dólares, todo porque se destruiría un insignificante pez que ni siquiera conocen la mayoría de los ictiólogos?

Aunque la presa de Tellico no hubiera resultado totalmente inútil (los miembros de una distinguida comisión del Gabinete decidieron que lo era) y, aunque no hubiera amenazado otros valores, debería haberse frenado *precisamente* porque resultaba una amenaza para el pez babosa. Existe un argumento muy convincente en torno a esta acción, y es que *en algún momento tiene que iniciarse el proceso de preservación de las especies.*

Si el valor de cada especie o población amenazada se ha de comparar, uno a uno, con el valor del programa de desarrollo particular que va a exterminarlos, de las plantas, animales y microorganismos de la Tierra ya no existirían. Desde luego, la presa X podrá suministrar energía para la iluminación de cincuenta mil personas; la autovía Y permitirá abreviar en veinte minutos la conducción entre Jonesville y Smith City; la Sunny Acres Apartments, proporcionará viviendas dignas a dos mil personas condenadas ahora a vivir en un tugurio; la mina Z creará doscientos cincuenta nuevos puestos de trabajo, así que, ¿cómo puede organismo alguno entrar en competición con semejantes argumentos?

En una sociedad superdesarrollada como la de Estados Unidos, se pueden plantear problemas y alternativas a todos y cada uno de esos proyectos, por más valiosos que puedan parecer. Por ejemplo, ¿hasta qué punto es crítico el ahorro de veinte minutos entre Smith City y Jonesville? ¿No se podría conseguir el mismo, o casi el mismo, resultado mejorando alguna autopista ya existente, y a un coste más reducido? ¿No se podrían construir nuevos apartamentos remodelando correctamente los barrios bajos? ¿No existe una manera menos destructiva de proporcionar trabajo que la apertura de una nueva mina? ¿No puede obtenerse el mineral de minas ya existentes? ¿Es verdaderamente necesaria la electricidad de la presa en una nación que derrocha cantidades enormes de energía, como es el caso de Estados Unidos?

Gran número de los proyectos de desarrollo existentes proporcionan beneficios a corto plazo para unos pocos, y traspasan los costos a largo plazo a toda la sociedad, como han constatado con suficiente claridad los estudios de impacto ambiental. En Estados Unidos, el «desarrollo» se consideraba, hasta hace muy poco, enteramente beneficioso. Sin embargo, en la década de los setenta, esta visión ha sido cada vez más combatida debido a la proliferación de conflictos sobre el uso del suelo, los derechos del agua y los valores ambientales. Asimismo, la necesidad de conservar las especies amenazadas se ha convertido últimamente en un valor conflictivo, lo cual es un valor más importante. Se debe tener en cuenta que la tasa a que las poblaciones y especies están siendo erradicadas ha superado el límite en que una sociedad como la norteamericana funcionaría mejor prescindiendo incluso de los proyectos más «necesarios», si éstos no se pueden llevar a cabo sin aumentar el número de extinciones.

La elección, como se verá más adelante, será muy ardua y casi siempre difícil de plantear. En muchos casos, las especies y poblaciones resultan dañadas por actividades realizadas lejos de sus hábitats. Por ejemplo, una nueva planta de energía térmica en el centro de Indiana puede incrementar la lluvia ácida que está exterminando las poblaciones de trucha en Maine. Contra el sistema de valores de una sociedad occidental orientada hacia el desarrollo, la defensa de los organismos amenazados sobre la base de uno a uno, sitio a sitio, será muy laboriosa, incluso cuando las conexiones sean claras. A la larga, la partida está perdida ya que siempre habrá una presa de Tellico para cada población y especie de organismo no humano, y siempre existirán desarrollistas, políticos e incluso ciudadanos de a pie que defiendan que los valores económicos a corto plazo deben prevalecer sobre el resto. No comprenden que su propio destino está ligado al de todos los peces babosa que existen en el planeta, ni son conscientes de cuánto echarían de menos a esos pequeños peces.

¿Existen organismos a los que no se echaría en falta?

Sin duda alguna, no toda matanza de miembros de otra especie en el pasado o en el presente es perjudicial, incluso prescindiendo de la idea de que el *Homo sapiens* no es el centro del mundo. Desde la época de Darwin, los biólogos han reconocido que el éxito de unas especies se paga normalmente con la reducción en el tamaño de la población o con la extinción de otras. Por ejemplo, es perfectamente natural que el ser humano trate de controlar, o incluso llevar a la extinción, a poblaciones o especies que le atacan o que son una amenaza para sus recursos.

Si, pongamos por caso, se encontrara una manera mágica de exterminar al mosquito *Anopheles* —transmisor de la enfermedad humana más importante, la malaria— el hallazgo sería muy positivo. No obstante, los ecólogos advertirían que dicha extinción entraña una ligera posibilidad de que los cambios que inevitablemente se introducirían en los ecosistemas de la Tierra, hicieran de ésta un lugar menos habitable para la humanidad, ocasionando peores sufrimientos que los que infligía antes la malaria. Y algunos demógrafos advirtirían de que un repentino descenso de la tasa de fallecimientos humanos en algunos países en desarrollo podría conllevar una aceleración del crecimiento de la población, exacerbando los problemas sociales y económicos, ya suficientemente graves.

Ahora bien, no todo es siempre tan sencillo, ya que no existen mecanismos mágicos para eliminar selectivamente una especie —sobre todo una plaga de insectos— de la dotación de seres vivos de la Tierra, y la mayoría de las técnicas que se emplean para controlar a depredadores y competidores han demostrado ser armas de doble filo.

Incluso cuando las cosas parecen sencillas a primera vista, una investigación minuciosa revela complejidades muy desagradables. En ciertas partes de África, los elefantes se han convertido en una plaga peligrosa que destruye las cosechas de los pobres, hambrientos y esforzados africanos, produciéndoles en ocasiones la muerte. Por el momento, se ha optado por la solución de compromiso temporal de trasladar los elefantes a otros lugares, o incluso de darles caza. Sin embargo, África no corre el peligro de agotar ni los elefantes ni los lugares donde poder trasladarlos.

La destrucción de tan corpulentos animales sería relativamente

sencilla y ésta es, de hecho, una de las razones por las que el elefante está en peligro. Una objeción a este punto puede ser que la futura prosperidad económica de extensas áreas africanas no se maximizaría dedicando todo el terreno utilizable a la agricultura de subsistencia. Las futuras generaciones africanas estarían, sin duda, mejor asistidas si se conservaran algunas de esas áreas como potenciales mecas turísticas, en las que los elefantes resultarían el centro de atracción.

El conflicto básico proviene en realidad del desarrollo de las poblaciones humanas, que usurpan de manera creciente el hábitat de los elefantes. En este caso, como en otros muchos, a la larga sería más beneficioso para los africanos controlar el crecimiento y la expansión de la población humana, que dedicarse a exterminar elefantes. Sin elefantes, la población podría crecer durante unos pocos años más, pero acabaría agotando la tierra cultivable y la naturaleza se encargaría luego de frenar el crecimiento demográfico. Sin embargo, los líderes africanos están inmersos en procesos de toma de decisiones a corto plazo, al igual que los políticos americanos. Ahora bien, desde un punto de vista ético más amplio, se puede abogar por que las manadas de estos gigantes e inteligentes animales sean protegidas por encima de cualquier otro valor.

Hasta dónde se deben afrontar estos problemas desde una posición fuertemente antropocéntrica, es, sin duda, un tema sobre el que seguirán disintiendo muchas personas. Durante muchos millones de años, el único punto de vista posible y evidente para el *Homo sapiens* era el antropocéntrico. Asimismo, para los habitantes de las ciudades industriales de la actualidad, rodeados de objetos de factura humana y apoyados en lo que parece ser un sistema completamente artificial, es muy fácil creer que el ser humano es ajeno a la naturaleza y que no depende de ella. Las religiones han reforzado esta idea al enseñar que el dominio sobre la Tierra y demás cosas vivas es un derecho que Dios ha otorgado a la humanidad.

Quizá la mejor manera de minar el chauvinismo humano en las naciones industrializadas sea organizar programas intensivos de educación, para familiarizar a todas las personas, especialmente a los niños, con nuestros compañeros de viaje de la cosmonave Tierra; no sólo que aprendan a valorarlos por su belleza o interés intrínseco, sino a comprender que *son necesarios* para la vida y que necesitan nuestra protección para sobrevivir. Los programas de televisión sobre el mundo animado han contribuido en gran medida

a difundir esta idea, aunque no pueden sustituir la experiencia personal. Por ejemplo, los arrecifes podrían brindar una introducción idónea a la belleza y fascinación de organismos relativamente ignotos, a sus intrincadas relaciones y a su importancia para la humanidad. Además, tal apreciación del ecosistema de los arrecifes podría conducir a la valoración del verdadero problema de la destrucción progresiva de los recursos biológicos de la Tierra.

LOS ARRECIFES DE CORAL

A modo de introducción en el tema de los arrecifes coralinos podría tomarse como ejemplo la cara exterior del Arrecife de la Gran Barrera, en un punto cerca de Lizard Island, en el extremo norte del arrecife. Allí, un fantástico jardín de corales señala el lado de mar de un lugar que contiene literalmente miles de especies de peces de arrecife diferentes. Escuadrones de grandes peces papagayo nadan elegantemente por el talud exterior, limpiando las cabezas de coral con sus dientes a modo de pico, comiendo las partes vivas y excretando nubes de residuos calizos blancos. Se mueven por los arrecifes como segadoras dejando tras de sí arena blanca purificada. Bancos de grandes carángidos flotan sobre el abismo, y si se otean talud abajo hacia el mar de Coral, de kilométrica profundidad, es posible entrever, ocasionalmente, la silueta de un gran tiburón oceánico. Ambos, carángidos y tiburón son carnívoros que se alimentan de peces más pequeños.

El mejor lugar para disfrutar de la diversidad de los seres vivos y observar sus relaciones son los arrecifes más superficiales. En esta zona ha sido posible estudiar veinticinco especies de peces mariposa, uno de los más bellos habitantes de los arrecifes. Estos peces son completamente planos, como los escalares que aparecen con frecuencia en los acuarios, y están vivamente coloreados de blanco, negro, dorado, azul, anaranjado o amarillo.[8]

Los peces mariposa no se alimentan todos por un igual. Unas especies comen ciertos tipos de coral mientras que otras buscan pequeños invertebrados por los corales o por la arena. En un estudio más reciente en Lizard Island, nuestros colegas y nosotros mismos observamos de qué manera ordenada se reemplazan entre sí las especies con estilos de vida parecidos (competidores en potencia) en diferentes sitios. Por ejemplo, tres especies que se alimentan de corales duros en las aguas cristalinas próximas a la Barrera exterior, son sustituidas por otros dos devoradores de coral en las lóbregas aguas de los arrecifes cercanos a la playa de Queensland.[9] El ignoto mundo viviente de los arrecifes no sólo es bello y diverso, sino que además posee una compleja organización que un profano que visitara esta «aula» sumergida no observaría a primera vista. Así pues, aunque en apariencia sean muy similares, dos especies suelen funcionar de forma muy distinta en los ecosistemas; si una se extingue, la otra puede ser incapaz de sustituirla en sus funciones.

Incluso para un biólogo experimentado, la fauna ictiológica de una zona como Lizard Island presenta una sucesión diaria de lecciones de ecología. Toda la superficie del arrecife está plagada de pequeños peces señorita, cada uno de los cuales defiende un pequeño territorio alimentándose, principalmente, de las plantas que allí crecen. Por encima del arrecife, otros peces señorita se alimentan del flujo constante de plancton —diminutas plantas y animales suspendidos en el agua— arrastrado hacia los arrecifes. Ambos grupos están emparentados entre sí, y cada uno se ha especializado en una fuente distinta de alimento.

En tubos, en el arrecife, viven los blenios dientes de sable, cuya forma es, más o menos, la de un dedo índice, pero de doble longitud. Son depredadores «a la carrera», es decir, si acierta a pasar un pez grande e indolente, uno de estos blenios sale de su tubo como una bala, da un mordisco al pez transeúnte y desaparece en su agujero a tal velocidad que la maniobra entera es un visto y no visto. La víctima simplemente se estremece y sigue su camino. La abundancia de estos blenios viene determinada por la abundancia de agujeros adecuados, así que la escasez de recursos (agujeros) puede limitar el tamaño de la población.

En ciertos puntos del arrecife, se han asentado los lábridos «limpiadores», de unos diez centímetros de largo y cuerpo brillantemente coloreado. Asimismo, pueden observarse otros muchos peces de arrecife alineados cual motoristas en la gasolinera, esperando su turno de aseo. Cuando les llega la vez, cada cliente adopta una «pose de aseo» característica y entra en estado de aparente abotargamiento, mientras el lábrido le da un repaso, eliminando meticulosamente los parásitos de la piel, agallas e interior de la cavidad bucal. Una de las maravillas de la naturaleza es ver a estos pececillos introducirse en la boca de un gran depredador y picotear, con absoluta seguridad, los parásitos situados entre esa especie de daga que tienen por dientes. Así pues, la evolución puede dar lugar a asociaciones y comportamientos insospechados.

También pueden observarse las actividades del timador del arrecife, un falso limpiador. Ciertos blénidos, parientes del depredador «a la carrera», han desarrollado una coloración virtualmente idéntica a la del lábrido limpiador así como un comportamiento acorde. Se anuncian como limpiadores, pero cuando un pez incauto llega y adopta la postura de limpieza, el imitador simplemente le propina un bocado y procede a masticarlo sin ninguna contemplación. La víctima parece incapaz de lanzarse al ataque de un pez con librea de limpiador.

Toda esta fascinante y diversa fauna piscícola del arrecife coralino no es más que una parte de la historia del arrecife animado. La propia estructura del arrecife es el resultado de la actividad de diminutos animales coralarios en cuyo interior viven algas simbiontes que, como si de plantas verdes se tratara realizan la fotosíntesis. Los arrecifes gigantes —de tamaño muy superior al de las estructuras de factura humana— son producto de la actividad de esos diminutos animales coloniales y de las algas, concretamente, son sus esqueletos calizos, depositados desde tiempo inmemorial. Así pues, los organismos diminutos, si disponen de tiempo suficiente, pueden crear estructuras geológicas muy importantes.

Los restantes animales del arrecife, incluidas las miríadas de crustáceos, gusanos, moluscos y demás animales invertebrados, son, en muchos aspectos, tan fascinantes como la fauna ictiológica, aunque no siempre tan maravillosos de contemplar. Se podría aprender mucho de todos ellos, si se observan de forma adecuada.

Los réditos económicos que el arrecife proporciona al *Homo sapiens* también son múltiples. Los peces de arrecife suponen un importante suplemento de proteínas en la dieta de muchos habitantes de las áreas tropicales, y en algunas islas constituyen la principal fuente de alimento. Por si fuera poco, el ecosistema de los arrecifes es un recurso estético de gran importancia para el sector turístico de muchos países tropicales y para la naciente industria recreativa del escafandrismo. Todo el complejo arrecifeño es un foco de elevada productividad dentro de los ecosistemas de los mares tropicales, pero, por lo demás son relativamente improductivos. Su destrucción acarrearía una inevitable cascada de efectos sobre las especies piscícolas de todos los océanos tropicales, además de suponer una amenaza para las playas y puertos, que quedarían a merced de las olas y de la erosión. También se ha sugerido que los arrecifes están involucrados en la regulación del contenido de sal de los océanos. Los arrecifes forman enormes lagunas de evaporación entre ellos mismos y las playas tropicales,[10] así que las cosas que son bonitas y educativas pueden tener, además, interés económico.

El *Homo sapiens*, por desgracia, amenaza con destruir el mundo de los arrecifes coralinos (de hecho, en muchos sitios la destrucción está ya muy avanzada). Si dicha destrucción se consuma, es seguro que muchos seres humanos padecerán más hambre, y seguramente se habrán perdido importantes recursos biológicos. La pérdida del sistema de los arrecifes y de las especies que lo componen será mucho más grave que la pérdida de los dinosaurios gigantes, porque es muy posible que nada evolucione para reemplazar el ecosistema arrecifeño. Ciertamente, nada podrá reemplazarlo a la escala temporal que interesa a la humanidad.

2. EL ORIGEN DE LAS ESPECIES Y SU EXTINCIÓN

Cuando embarqué en el «H.M.S. Beagle» como naturalista, estaba muy impresionado con ciertos hechos de la distribución de las poblaciones que vivían en Sudamérica y de las relaciones geológicas entre los habitantes actuales y pasados de ese continente. Estos hechos me parecían que arrojaban cierta luz sobre el origen de las especies, ese misterio de misterios, como lo ha llamado uno de nuestros más grandes filósofos.

CHARLES DARWIN
El origen de las especies

Las especies vivas de hoy, recordémoslo, son el producto final de veinte millones de siglos de evolución; y nada podrá hacerse cuando las especies lleguen a su fin, cuando haya muerto la última pareja.

SIR PETER SCOTT
Durante la Conference on Breeding Endangered Species de 1972

Para apreciar perfectamente cómo las especies de otros organismos proporcionan a la humanidad placeres, valores económicos y otros servicios esenciales para la vida, es necesario comprender un poco mejor su naturaleza, los procesos de su creación y las pautas prehistóricas de extinción. Tal conocimiento es también fundamental para apreciar cómo las especies resultan amenazadas y de qué opciones se disponen para corregir el desequilibrio entre las tasas de origen y extinción de especies.

El término *especie* o *tipo* es, sin embargo, difícil de definir con precisión. Las especies son diferentes tipos de plantas, animales y microorganismos. Todo biólogo entiende, más o menos, estos términos, pero no hay común acuerdo a la hora de dar una definición exacta. La mayoría están de acuerdo en que si dos grupos de orga-

nismos, visiblemente diferentes aunque similares, viven juntos y dan signos de poco o ningún entrecruzamiento, deben ser considerados especies independientes.

Los perros y los zorros son especies independientes porque nunca se ha encontrado un híbrido de perro y zorro. El roble del interior de California y el roble negro californiano son especies distintas, aunque formarían híbridos. Suele discutirse a menudo acerca de si los animales o plantas con un parecido más o menos grande, pero que nunca se encuentran juntos —como, por ejemplo, el oso pardo europeo y el oso gris o grizzly americano— deberían ser considerados una misma especie. Estas discusiones han sido tratadas en la literatura científica,[1] pero no forma parte del tema que nos ocupa.

Aunque la ciencia conociera a la perfección todos los organismos de nuestro planeta, todavía existiría desacuerdo en el número de especies que representan. Sin embargo, los biólogos coinciden de seguro en que existen muchas especies aún no descubiertas y formalmente clasificadas. Por estas razones, la pregunta «¿Cuántas especies existen?» sólo puede ser respondida dentro de un orden de magnitud con la cifra de dos a veinte millones. Cerca de un millón y medio están descritas y tienen adjudicado nombre científico.

Se cree que la inmensa mayoría de las especies, sobre todo las no descritas, habitan en los trópicos, concretamente en la selva tropical. A pesar de su escasísima extensión, es probable que los trópicos den cobijo, como mínimo, al doble de especies que las zonas templadas. Sólo en la cuenca del Amazonas puede que vivan casi un millón de especies. No es sorprendente que la mayoría de los organismos más grandes del mundo ya estén catalogados por la ciencia, por ejemplo, peces (unas 20.000 especies), anfibios (unas 2.600), reptiles (6.500), aves (8.600), mamíferos (4.100) y plantas superiores (250.000). Las especies aún por descubrir pertenecen a grupos como los insectos, los ácaros y los nematodos. Por ejemplo, en el año 1975, se describieron y recibieron nombre 786 especies desconocidas («nuevas») de mariposas, a sumar al cerca de un millón de otras especies que ya habían recibido denominación científica.[2]

Incluso en Estados Unidos y en Europa se están descubriendo continuamente nuevas especies de organismos desconocidos. En los grupos más llamativos, como el de las mariposas, los descubrimientos de especies antes desconocidas en las zonas templadas están en gran parte restringidos a las llamadas especies gemelas, dos tipos distintos tan similares que durante mucho tiempo se consideraron una sola especie. Cuando en 1959 Paul y otros colegas encontraron una especie nueva y bellísima de una pequeña mariposa notablemente diferente, en Sandia Mountains, Nuevo México, hacía unos cincuenta años que no se realizaba un descubrimiento de este tipo en Estados Unidos.[3] De todos modos, aunque el número de especies por descubrir y describir sea inmenso, los científicos tienen una idea muy clara de aproximadamente cuántas pueden ser y dónde descubrirlas.

Un problema fundamental es el contraste entre las tasas de formación y extinción de especies. Aunque la mayor parte de este libro trata de las causas y la prevención de las *extinciones* prematuras, se requiere cierto conocimiento acerca del proceso evolutivo de la *formación* de especies para comprender correctamente la situación. Después de todo, podría considerarse que, si las actividades humanas pueden acelerar la desaparición de especies, también el ser humano puede intervenir en el otro miembro de la ecuación e incrementar la tasa de formación de las mismas, manteniendo de ese modo la diversidad del mundo natural.

EVOLUCIÓN

Existen dos procesos principales en la evolución orgánica. El primero afecta al cambio paulatino dentro de una línea individual de descendencia. Un ejemplo de cambio a corto plazo en una línea individual sería la adquisición de resistencia a un pesticida en una población de mosquitos al cabo de un período de, por ejemplo, diez generaciones (la generación de un mosquito puede durar menos de dos semanas). Cambios evolutivos de esta índole se han observado en muchas plagas de insectos en décadas anteriores. Un año, la población del insecto es muy sensible al pesticida, y casi todos mueren a dosis relativamente bajas. Un año después, más o menos, los descendientes de la misma población se sirven del insecticida como aperitivo y continúan alimentándose con la cosecha que se trataba de proteger, o chupando la sangre humana. Estos insectos han pasado, en relativamente pocas generaciones, de ser organismos sensibles al insecticida a ser resistentes a él.

Otro ejemplo de evolución dentro de una línea individual, detectable no en un año, sino en un período de millones de años, fue la transformación gradual de una criatura simiesca conocida como

Australopithecus hasta llegar a ser el ser humano actual. *Australopithecus* era una criatura completamente erecta, utilizaba herramientas y habitaba en las llanuras africanas. Los descendientes de este «mono-hombre» adquirieron poco a poco un cerebro mayor y unas culturas más complejas, evolucionando hasta el estadio conocido como *Homo erectus*, que incluye al hombre de Java y al de Pekín, entre otros. El proceso continuó y *Homo erectus* devino paulatinamente en *Homo sapiens*, el representante actual de la línea humana.[4] En ambos casos, ser humano y mosquito, una clase de animales al fin y al cabo, se transformó con el tiempo en otra distinta.

La *especiación* es el segundo proceso evolutivo importante, y da cuenta de la grandísima diversidad de los organismos. La especiación transforma un tipo de organismos en dos o más tipos nuevos. Por ejemplo, durante el Triásico, hace unos 200 millones de años, cuando los dinosaurios dominaban las tierras emergidas, un grupo de reptiles empezó a sufrir una transformación. La serie normal de dientes laterales reptilianos —cuyas piezas eran todas sencillas y básicamente idénticas— empezaron a cambiar hacia una serie diferenciada de molares y premolares complejos. Las escamas planas, características de la mayoría de los reptiles, empezaron a convertirse en unos objetos finos que ahora se conocen como pelos, y los animales en evolución empezaron a cuidar de sus crías y a producir un fluido blanquecino, nutritivo, conocido como leche, con el que alimentaban a dichas crías. Éstos y otros cambios no se produjeron de una vez; de hecho, la secuencia exacta no está muy clara en el registro fósil, pero estos reptiles iban en camino de convertirse en mamíferos.

Durante un largo período de tiempo —mucho más de 100 millones de años— los mamíferos fueron un grupo de animales pequeños, que vivían aterrorizados por los dinosaurios carnívoros que los depredaban a la puesta del sol de aquellos remotos días. Pero, al final del Mesozoico, hace unos 65 millones de años, los dinosaurios desaparecieron de repente. Había llegado la era de los mamíferos, y las comparativamente pocas especies de oscuros ancestros del ser humano proliferaron hasta formar ese grupo representado actualmente por más de 4.000 especies, que incluye formas tan diversas como el canguro, el oposum, la ballena, el oso y el cerdo hormiguero, el murciélago, la foca, el perro, el tigre, el oso, la mofeta, el armadillo, el caballo, el antílope, el ciervo, la cabra, la vaca, el ratón, el conejo, el ornitorrinco, el gorila y el ser humano.

Este proceso no sólo conllevó cambios en una línea individual, sino también, evidentemente, en la división de líneas, es decir, la *especiación*. Los mecanismos exactos de la especiación no se conocen del todo, debido en parte a que el proceso suele ser muy lento.

Algunos aspectos del proceso de especiación se pueden observar tanto en los sistemas actualmente vivos como en el registro fósil. El registro fósil indica —y la observación de las especies vivas lo confirma— que respecto de la duración de una vida humana, el proceso de la especiación es gradual. A veces, en un grupo de organismos se produce un «fogonazo» de diferenciación, lo cual puede ocurrir una vez cada cien, o incluso cada mil años. Pero, en la mayoría de los casos, la especiación dura decenas de miles o de millones de años. Hace ya más de un siglo que Charles Darwin inició a los biólogos en la idea de la especiación, y aún no se ha podido documentar la formación en la naturaleza de una nueva especie. Los biólogos no han observado nunca la secuencia completa de una especie animal transformándose en dos o más especies. Los biólogos *han* podido observar innumerables ejemplos de especies animales y vegetales que parecen hallarse en diversas fases de escisión. Pero, en la mayoría de los casos, el ritmo de cambio es tan lento que resulta imposible detectar un incremento en la cantidad de diferenciación habida durante las décadas que dura una investigación.

El mecanismo básico tanto de los cambios evolutivos entre líneas de descendencia como de la especiación, es el que propuso Charles Darwin: la *selección natural*. La selección natural opera cuando unos individuos de una población se reproducen, en promedio, significativamente en mayor número que otros, y además son genéticamente distintos. En los organismos con reproducción sexual, los individuos, a excepción de los gemelos univitelinos, nunca son genéticamente iguales por lo que, en un medio ambiente determinado, algunos tipos genéticos serán más capaces de sobrevivir y reproducirse que otros. Ciertos tipos genéticos de insectos, por ejemplo, serán más resistentes que otros a un pesticida. Cuando se fumiga una población de insectos, actúa la selección natural, es decir, los tipos genéticos resistentes tendrán más probabilidad de sobrevivir y, en consecuencia, se reproducirán más que los tipos más sensibles. Esta reproducción diferencial del individuo resistente, en relación al más sensible, implica cambios genéticos en la población. Los genes presentes en los mejores reproductores (tipo resistente) aumentan su frecuencia en el «acervo genético» de la

población —la dotación genética colectiva de la población—, mientras que los de los menos reproductores (tipo sensible) disminuyen. De este modo, toda la población adquiere gradualmente resistencia al pesticida.

Esta sustitución como resultado de la selección natural de un tipo genético por otro dentro de la misma población, explica muy claramente, dado los miles de millones de generaciones disponibles, la transformación de la primera forma autoduplicante que la vida originó, a través de la ramificación de las líneas ancestrales, hasta dar lugar a los organismos actuales. Pero, ¿cómo dirigió la selección natural la escisión de las líneas para que existan hoy millones de especies diferentes? La respuesta ha de buscarse en la *variación geográfica*.

Variación geográfica

El cambio que se produce *dentro* de una misma línea de descendencia da lugar a organismos más capaces de explotar el medio ambiente en que viven, o de adaptarse a nuevas condiciones si ese medio cambiara. La razón más importante para la *escisión* de las líneas de descendencia, es decir, para la especiación, es que varíe el medio ambiente. No existen dos lugares idénticos en cuanto a topografía, clima, o en cuanto a la serie de organismos que habitan en ellos se refiere. Sin embargo, cuando una especie amplía su distribución, sus poblaciones divergen genéticamente en respuesta a los diferentes medios ambientes que encuentran, y cada cual se adapta, por selección natural, a las condiciones de su propia zona. Todas las poblaciones se diferencian genéticamente entre sí, y esas diferencias genéticas se reflejan en diferencias en la estructura, el comportamiento y otras características de los seres vivos. Estas diferencias entre poblaciones se conocen como *variación geográfica*. Los taxonomistas reconocen tal variación y denominan y describen como *subespecies* geográficas (o *razas* geográficas) a los grupos o poblaciones de una especie.

Una medida de lo rápidamente que la selección natural puede modificar las poblaciones en respuesta a cambios ambientales, es la cantidad de variabilidad genética presente en las poblaciones. Cuanto más parecidos genéticamente sean los individuos, menos posibilidades existen de que la población o la especie pueda adaptarse a las nuevas condiciones. Cuanto mayores sean las diferencias

genéticas entre las poblaciones de una misma especie y en el seno de cada población, mayor es la probabilidad de que la especie aguante una modificación del medio ambiente que afecte a todas las poblaciones.

Supongamos, por ejemplo, que se produjera un enfriamiento rápido y general del clima. Las poblaciones situadas más al Norte, ya adaptadas genéticamente a condiciones más rigurosas, podrían desplazarse hacia el Sur y sobrevivir, reemplazando a las poblaciones sureñas que se habrían extinguido. O también, aunque menos probable, los tipos genéticos más resistentes al frío de las poblaciones sureñas podrían sobrevivir y tomar el relevo.

Así pues, la variabilidad genética puede ser considerada un recurso capital de las especies y poblaciones naturales. Es un recurso que confiere a la especie, o a la población, la posibilidad de seguir en el juego evolutivo de un mundo donde el cambio ambiental no es la excepción, sino la norma.

En algunos casos especiales, se ha podido observar, más o menos directamente, la selección natural producida debido a variaciones geográficas. Hace muchos años, Paul trabajaba con el difunto doctor Joseph H. Camin, de la *Chicago Academy of Sciences*, estudiando la transmisión de una especie de malaria de las culebras por ácaros. La partida de culebras acuáticas utilizada en el trabajo se obtuvo de una gran población de las islas del lago Erie. Las culebras vivían en las losas calizas de la costa de esas islas. A menudo, cuando se levantaba una de esas grandes losas, se descubrían varias culebras acuáticas de metro a metro y medio de largo. La técnica era sencilla se cogen una o dos culebras, y una o dos te cogen a ti. (La culebra acuática no es venenosa, pero sí malintencionada, pueden llegar a morder incluso a través de las membranas vitelinas, como si ya hubieran nacido.)

Las culebras acuáticas presentaban variación geográfica en su coloración. La mayoría pertenecía a un tipo genético que carece del modelo de franjas claras y oscuras alternas que caracteriza a esta especie a lo largo de las riberas continentales del lago Erie y de la mayor parte del Este de Norteamérica. Como no presentaban esas franjas, resultaba difícil distinguir las culebras contra el fondo de caliza; en otros lugares, el modelo de franjas camuflaba las culebras en los fondos de sus hábitats pantanosos normales.

Con frecuencia, las hembras de culebra que se cogían en las islas para el laboratorio, producían grandes camadas de jóvenes. Lo interesante era que la mayoría de las culebras recién nacidas pre-

sentaban franjas. Dado que las culebras no cambian de color hasta la madurez, resultaba obvio que se había producido un fenómeno que eliminaba a muchos jóvenes del tipo genético franjeado, dejando sobrevivir a los adultos lisos. Se sospechaba que los agentes selectivos eran las gaviotas que se alimentaban de crías de culebra ya que podían reconocer con más facilidad las culebras franjeadas contra el fondo de losas calcáreas de las islas. Este hecho no pudo ser demostrado a ciencia cierta, sin embargo, sí fue posible evidenciar que la selección estaba actuando, pues existía una diferencia muy importante en la proporción de culebras con franjas entre la población de individuos recién nacidos y la de adultos. Los tipos genéticos franjeados de la camada tenían, sin duda alguna, menos probabilidad de desarrollarse y reproducirse que los tipos lisos.

En este caso, fue una circunstancia excepcional la que llevó a detectar la obra de la selección. Las culebras de la población con franjas que ocupa las riberas del lago, emigraban constantemente a las islas y llevaban consigo los genes determinantes de las franjas. De este modo, aunque esos «genes para franjas» fueran eliminados continuamente de las islas por selección, volverían siempre a ser reintroducidos en la población por migración. Este equilibrio entre migración y selección natural proporcionaba una visión poco frecuente de la manera en que se genera la variación geográfica.

Los intentos de Paul y de Joe por demostrar que, en efecto, las gaviotas depredaban selectivamente no fueron muy afortunados; de hecho, sólo pudieron demostrar que las gaviotas se burlaban de los científicos. Pidieron prestada una gaviota a Marlin Perkins, del famoso *Wild Kingdom*, que era a la sazón director del zoo Lincoln a la que bautizaron como Herman. Se diseñó un cuidadoso experimento en el que se ofrecía al hambriento Herman crías de culebra acuática, con y sin franjas, sobre superficies parecidas a las de las calizas de las islas del lago Erie. La idea fundamental era ver si, sobre ese fondo, Herman podía encontrar con más facilidad las culebras con franjas que las lisas y comérselas.

Desafortunadamente, Herman era un veterano residente del zoo, acostumbrado a una dieta de pejerrey congelado. Cuando le presentaban crías de culebra acuática, no les hacía el menor caso, ni siquiera cuando tenía mucha hambre. Así pues, el primer cometido fue convencer a Herman de que las culebras se comían. Esto se consiguió en una semana más o menos, mezclándole en la comida las crías de culebra y el pejerrey congelado.

Superado con éxito este punto, llegó el turno de la primera prueba experimental. Colocaron a Herman ante dos piedras artificiales idénticas, en una había una cría de culebra acuática franjeada y en la otra una sin franjas. Herman consiguió atrapar la cría lisa y se abstuvo completamente de atrapar y comer la culebra con franjas. Evidentemente, Herman podía ver con mayor claridad esta última que la lisa. En el segundo intento, Herman se percató primero de la culebra sin franjas, la engulló, y luego se fue a cazar la otra. Después de esto, quedaba claro que sabía que había una culebra en cada piedra, y que primero cogía una y luego la otra, sin tener en cuenta la coloración.

Por último, se trató de demostrar que Herman podía discriminar, como mínimo, entre las culebras con franjas y las lisas. El diseño básico consistía en proporcionar a Herman los dos tipos de culebras, según una secuencia aleatoria, y asustarlo con un ruidoso gong situado debajo del comedero, que sonaría cuando picoteara una culebra con franjas. La primera prueba se hizo con una de estas culebras y Herman fue a por ella. El gong sonó, pero la gaviota en vez de asustarse, ni siquiera se inmutó. Simplemente siguió allí y empezó a engullir su presa. Paul entró de repente en la jaula, agarró a Herman y le arrancó la culebra. En la creencia de que este susto alertaría a Herman sobre la razón del gong, se intentó una segunda prueba, de nuevo con una culebra franjeada. Una vez más, Herman se dirigió a ella, y el gong volvió a sonar. Esta vez los resultados demostraron que Herman había aprendido a la perfección. Agarró su botín y se precipitó a la esquina más alejada de la jaula antes de que Paul pudiera entrar a arrancárselo. Herman fue devuelto a Marlin con las correspondientes muestras de agradecimiento.

Así, la causa de la variación geográfica en las culebras acuáticas (sin franjas en las islas del lago Erie, franjeadas en otras partes) es la supervivencia diferencial de las culebras de distintos tipos genéticos, es decir, la selección natural. No obstante, la identidad de los agentes selectivos en las islas sigue siendo una incógnita, y las gaviotas son una posibilidad convincente.[6]

Con todo, no es necesario recurrir a animales tan poco comunes para encontrar ejemplos de variación geográfica. Nuestra propia especie es una de las más variables geográficamente hablando. La mayoría de las características físicas humanas —altura, constitución, color de la piel, tipo de cabello, tipo de sangre, color de los ojos, etc.— muestran la variación geográfica. En algunos casos, se desconocen las clases de presión que han producido esta variación.

Por ejemplo, los seres humanos que viven, o cuyos antepasados vivieron un día, en regiones de África, son sensibles a una enfermedad llamada anemia falciforme. Actualmente se conoce muy bien la genética y la bioquímica de esta enfermedad, y se sabe que los genes de la anemia falciforme en la población africana ayudan a obtener protección contra un tipo de malaria especialmente peligroso que se da en esas zonas de África. Pero una pequeña fracción de los portadores de células falciformes desarrollan una forma mortal de anemia. Cabe pensar que la presencia de estos individuos con anemia mortal es el precio que ha de pagar la población para, por otro lado, mejorar su supervivencia y reproducción en presencia de la malaria.

Especiación geográfica

Pero, ¿cuál es la conexión exacta entre la variación geográfica y la especiación? De momento, en el ser humano ninguna. Todas las personas pertenecen a una única especie, *Homo sapiens*, y todas, sean de la población actual que sean, son absolutamente capaces de entrecruzarse. No obstante, en muchos casos, la variación geográfica es un estadio temprano del proceso de especiación —aunque, como se verá, en el *Homo sapiens* no es así. Si poblaciones que cambian en respuesta a diferentes presiones selectivas, permanecen aisladas entre sí (por ejemplo, por una cadena montañosa o un río caudaloso), pueden seguir caminos evolutivos diferentes. Después de muchísimas generaciones, las poblaciones aisladas pueden llegar a ser tan distintas que si volvieran a juntarse por erosión de la cordillera o porque el río se secara, quizá serían incapaces de entrecruzarse. En tal caso, existirían dos especies donde antes sólo hubo una, es decir, se habría producido especiación.[7]

Un ejemplo clásico de especiación geográfica de ese estilo es el de los «pinzones de Darwin» de las islas Galápagos. Cuando en 1979 visitamos las Galápagos, encontramos que esos pinzones, similares a gorriones que atrajeron la atención de Darwin en 1835, todavía eran muy abundantes. Los ornitólogos han reconocido catorce especies. Estos pajarillos son muy parecidos estructuralmente entre sí, pero varían algo en el color, un poco más en el tamaño y mucho en la forma y tamaño del pico y en los hábitos alimenticios. En un extremo se halla una especie bastante grande que come en el suelo y luce un enorme pico triangular. En el otro, un pequeño pinzón parecido a una curruca, con un filoso pico que utiliza para buscar insectos en el interior de los árboles. Las especies presentan una distribución desigual por el archipiélago, de manera que algunas de ellas habitan por un igual en las catorce islas y otras sólo en una.

Una de las especies se comporta como un pájaro carpintero, hundiendo el pico en las cortezas en busca de insectos que comer. Pero, como carece de la larga lengua que el verdadero picapinos emplea para extraer los insectos que ha descubierto, el pinzón se ayuda de una herramienta. Con una espina de cactus hurga en los agujeros y saca los insectos ocultos. Otra especie se alimenta principalmente de semillas, aunque también come garrapatas de las iguanas. En una de las islas, esta especie completa su dieta posándose en la cola de esas aves marinas, grandes y atontadas, que se conocen como alcatraces. El pinzón pica en la piel del corpulento pájaro y chupa la sangre que brota de la herida, obteniendo así un buen complemento proteínico para su dieta.

Cuando Darwin llegó a las Galápagos, tenía serias dudas acerca de la interpretación creacionista del origen de las especies. Después de todo, si Dios había creado todas las especies al mismo tiempo, o en sucesivos actos de creación aislados (lo que explicaría el enredo del registro fósil que por entonces estaba surgiendo), ¿por qué los animales fósiles que Darwin encontró en Sudamérica, estaban tan claramente emparentados con los que, a la sazón, pululaban por dicho continente? Las semejanzas entre los organismos vivos y los extintos en distintas partes del mundo se convirtió en la piedra angular de la historia de la evolución. Como Darwin escribía en la primera edición de *El origen de las especies*, en 1859:

> Según la teoría de la descendencia con modificación (es decir, evolución en vez de creación especial), se explica inmediatamente la gran ley de la larga sucesión permanente, aunque no inmutable, de los mismos tipos en las mismas áreas, pues los habitantes de cada región del mundo tenderán sin duda a dejar en esa región, durante el siguiente período de tiempo, descendientes estrechamente emparentados, pero en cierto grado modificados.[8]

Cuando Darwin vio por vez primera a los pinzones de las Galápagos, no captó su importancia, pero en seguida se dio cuenta de que este diverso grupo de aves, que ocupaba un archipiélago alejado de tierra firme era vital en sus estudios. En 1839, veinte años antes de que publicara su obra magna, escribía acerca de los pinzo-

nes en *El Viaje del Beagle:* «... a la vista de esta gradación y diversidad de formas en un pequeño grupo de aves íntimamente emparentadas, cabe imaginar que, a partir de una escasez originaria de aves en este archipiélago, una especie ha ido modificándose y adaptándose a diversos fines».[9]

Darwin quedó impresionado por la observación de que los animales y plantas de las islas solían tener los parientes más cercanos en las zonas de tierra firme más próximas. Esto no tenía mucho sentido bajo la hipótesis creacionista. Si fuera posible crear simplemente especies, las nuevas se crearían de manera que estuviesen bien adaptadas a los hábitats isleños, sin que ello afectara al continente adyacente. Las especies de las islas tenderían a parecerse entre sí allí donde las condiciones climáticas y demás aspectos ambientales fueran similares, y no a las especies de hábitats continentales, completamente distintos.

Por otro lado, la semejanza con especies de tierra firme era exactamente lo que cabía esperar partiendo de la hipótesis evolucionista. Un grupo de aves ancestrales parecidas a los pinzones habría llegado hace siglos al archipiélago de las Galápagos procedentes de Sudamérica, quizás a causa de una tormenta más violenta de lo normal. Aisladas del continente y sometidas a diferentes presiones selectivas en las tierras volcánicas y relativamente estériles, de las Galápagos, las aves empezaron a diverger respecto de sus parientes continentales. A este proceso de adaptación siguió una radiación adaptativa en la cual la especiación provocó el diverso abanilo de especies que hoy puebla las islas a partir de las inmigrantes originales.

¿Por qué no existe una especie única en las Galápagos? La respuesta se debe buscar en la especiación geográfica del mismo archipiélago. Los pinzones muy rara vez atraviesan las barreras de agua entre las islas y, en consecuencia, las poblaciones establecidas por emigrantes ocasionales permanecieron durante mucho tiempo aisladas entre sí. La especiación se produjo por el aislamiento, y cuando las especies «hijas» reinvadieron las islas de origen, ya no se entrecruzaban con las especies originales. En cambio, las especies hijas y parentales tenían que competir entre sí por el alimento por lo que la selección acrecentó cualquier diferencia que existiera en la forma del pico y en la dieta, reduciendo de ese modo la competencia. Darwin reconoció abiertamente la importancia de las demás especies como fuente de presiones selectivas. Escribió que era un «error muy generalizado considerar que las condiciones físicas de un país

son lo más importante para sus habitantes, cuando, a mi entender, es indiscutible que la naturaleza de las especies con las que cada cual tiene que competir, es un elemento de éxito por lo menos tan importante como éstas, y en general muchísimo más vital».[10]

La especiación por aislamiento en las diferentes islas de un archipiélago oceánico no es exclusiva de los pinzones de las Galápagos. Otros grupos de plantas y animales del archipiélago presentan indicios de un proceso análogo. Por ejemplo, las enormes tortugas aisladas en las diversas islas del archipiélago y en los volcanes dispersos de la isla Isabela (Albemarle), eran muy diferentes entre sí.

En las islas hawaianas, parece haberse producido una serie de actos de especiación muy similares a los experimentados por las catorce especies de pinzones estudiadas por Darwin. Una especie única, posiblemente un antecesor parecido a un pinzón, ha evolucionado hasta dar lugar a veintitrés especies de drepánidos. Al igual que los pinzones de las Galápagos, estas aves presentan formas de pico muy diversas (desde el tipo loro, hasta el extremadamente delgado, curvado y tan largo como el cuerpo del ave). Pero a diferencia de los pinzones de las Galápagos, los drepánidos hawaianos son muy variados en cuanto a colorido se refiere, siendo vivísimo en algunos de ellos.

Así pues, la radiación adaptativa experimentada por este grupo hawaiano es aún más espectacular que la de los pinzones de las Galápagos. Sin embargo, la explicación es la misma que en el caso de aquellos, es decir, siguen los mismos mecanismos de especiación geográfica y aislamiento, así como una compleja pauta de reinvasiones y selección para reducir la competencia.

Ahora bien, si las circunstancias no son las adecuadas, la variación geográfica no producirá especiación. El *Homo sapiens,* por ejemplo, no ha sufrido especiación geográfica, a pesar de presentar abundante variación geográfica. Una razón es la tendencia humana a la emigración. Ninguna población humana ha permanecido tan aislada de las demás como para que pueda haber especiación, es decir, para que los grupos se diferencien hasta el punto de no poder entrecruzarse entre sí. Otro motivo es que las adaptaciones culturales tienden a reemplazar a las genéticas. Por ejemplo, un esquimal vestido con pieles de foca puede sobrevivir del mismo modo que un aborigen desnudo en el desierto australiano. La ropa, la vivienda y otros ingenios culturales pueden compensar, y de hecho lo hacen, las diferencias en el medio ambiente. Así pues, existe una falta relativa de presiones selectivas divergentes en las distintas po-

blaciones humanas, en comparación con las que operan sobre otros organismos animales incapaces, de modificar su medio ambiente como lo hace el ser humano.

Otras especies muy difundidas carecen de la ventaja de la adaptación cultural, pero poseen una gran movilidad, igual que el *Homo sapiens,* por lo que se libran de la especiación. Las poblaciones de esos organismos —la migradora mariposa monarca es un buen ejemplo de ello— tienen una menor probabilidad de quedar totalmente aisladas, y pueden presentar escasa variación geográfica. O, como en el caso de las especies con distribuciones muy restringidas, existe menos oportunidad de variación geográfica, ya que el medio que ocupan no es lo bastante diverso como para provocar una evolución divergente. Y si, una vez más, las poblaciones no están muy apartadas entre sí, el aislamiento no será el suficiente como para que se produzca especiación.

EL EQUILIBRIO EVOLUTIVO

Como se ha comentado, la variación geográfica puede o no producir especiación; cuando la hay, el proceso es muy lento. Ésta es la razón principal de que la reciente aceleración que el ser humano ha ocasionado en la extinción de especies, sea un tema preocupante. El inventario de la Tierra, con millones de especies, es el producto de dos procesos biológicos —especiación y extinción— que operan desde hace eones. Se crean nuevas especies mediante especiación, y se eliminan otras por extinción. Es como si la especiación fuera un grifo que vertiera especies nuevas en un sumidero, y la extinción fuese el desagüe por el que desaparecen otras. A lo largo de casi toda la historia de la Tierra, el grifo ha estado manando especies un poco más deprisa, en promedio, de lo que otras corrían desagüe abajo. Como resultado, el número de especies vivas aumentó, en general, con el tiempo.

Hoy día, la humanidad se ha convertido en el principal agente de extinción, abriendo cada vez más el desagüe. Ya no son más las especies creadas que las extinguidas, con lo cual, las reservas de recursos biológicos del planeta —reservas que vienen medidas por el número de especies— disminuyen a gran velocidad. Las previsiones basadas en el reconocimiento de que la tasa de extinción seguirá aumentando como lo ha hecho en las últimas décadas, indican que quizás *una de cada cincuenta especies del total que hoy puebla la Tierra habrá desaparecido a finales del siglo* XX.[11]

La presión que la humanidad ejerce sobre las especies se lleva a cabo de muchas maneras, tanto directas como indirectas, por ejemplo, por un exceso de caza y de pesca, por sobrecultivo de plantas y —más importante— por alteración o destrucción de los hábitats naturales. Al mismo tiempo, es prácticamente seguro que la interferencia humana está inhibiendo el proceso de compensación a largo plazo, es decir, la especiación, mientras extingue a un número cada vez más elevado de poblaciones y especies. Cuando se aniquila una población se pierden también recursos genéticos de la misma. Como los hábtitats naturales de los organismos se alteran y degradan por la intrusión humana, y como el mundo en general se vuelve ambientalmente homogéneo, disminuyen las oportunidades para la especiación geográfica. Cuanto menor y más uniforme sea el área total ocupada por una especie, menor es la probabilidad de aislamiento y de que se presenten las diferencias ambientales necesarias para la especiación. (Es poco probable que el aislamiento entre reservas biológicas compense este hecho —al menos en el caso de los animales superiores—, por las razones que se comentan en el capítulo 9.) Así pues, los procesos evolutivos que en el pasado generaron un rico surtido de especies y un surtido aún más rico de poblaciones distintas, genéticamente adaptadas a las condiciones locales, son los que, justo cuando son más necesarias, están dejando de funcionar.

El miembro más significativo del cociente especiación/extinción de nuestro tiempo es la enorme aceleración en la tasa de extinción, que en la actualidad se estima en varias docenas de veces superior a la de hace unos pocos siglos, y que sigue aumentando a buen ritmo. Aunque la especiación no fuera inhibida por los mismos procesos responsables de la extinción y, aunque actuara a ritmo normal, no daría abasto para compensar las extinciones previstas en las próximas décadas, de manera que fueran significativas para la humanidad.

EXTINCIÓN

¿Qué puede decirse de los procesos naturales de extinción, reconocidos por Darwin y que han actuado durante miles de millones de años antes de que la civilización industrial iniciara la actual matanza de diversidad orgánica? El mismo registro fósil es un testigo

de esa extinción. Grupos enteros de organismos desaparecieron sin dejar rastro de descendientes directos. Por ejemplo, hace 600 millones de años, en los fondos oceánicos del período Cámbrico abundaban los trilobites, unos parientes lejanos de los actuales cangrejos y langostas. Casi 200 millones de años después, unos animales depredadores con aspecto de arañas, a veces con más de tres metros de largo, cazaban sus presas en los fondos marinos. Cerca de 100 millones después, existían libélulas con una envergadura de más de medio metro, que volaban por los bosques primitivos. Estos bosques acabaron convertidos en el grueso de la reserva actual de carbón.

Ésos y otros muchísimos organismos desaparecieron, dejando tras de sí únicamente fósiles que recordaban su existencia. Se estima en unos quinientos millones el número de especies que vivieron en una u otra época; así pues, las actuales existencias quizá representan sólo un 2 % de las que han evolucionado durante eones. El otro 98 % murió sin dejar descendencia, o bien evolucionó hacia un estadio lo bastante diferente como para que pueda hablarse de especies nuevas.[12]

Por lo tanto, los biólogos saben que la extinción ha sido el destino fatal de la mayoría de las especies que aparecieron de resultas del prolífico mecanismo de la especiación. Sin embargo, existen serios problemas para definir las causas de la extinción a partir del registro fósil. Comúnmente se acepta que las extinciones naturales se producen justo después de que se altere el ambiente físico (por ejemplo, debido a un cambio climático), o bien la flora y la fauna (debido a la evolución o invasión de un nuevo depredador o competidor).

Se han estudiado detenidamente los períodos en los que, al parecer, se han producido extinciones relativamente rápidas de grupos enteros. Por ejemplo, hace unos 65 millones de años, a finales del Mesozoico —llamado a veces la era de los reptiles— desaparecieron del registro fósil, bastante rápidamente, gran número de animales terrestres y marinos. Unos eran grupos muy comunes de animales unicelulares, provistos de concha dura, que se denominan foraminíferos. Otros comprendían los más espectaculares dinosaurios.

La repentina desaparición de los dinosaurios en unos «escasos» cientos de miles de años (o incluso en menos tiempo), es un tema estudiado desde hace tiempo por los paleontólogos. Resultado de ello es la gran cantidad de hipótesis, algunas muy imaginativas, que se han formulado como posible explicación a este punto. En un determinado momento, se sugirió que un cambio en las plantas consumidas por los dinosaurios herbívoros habría causado la muerte de éstos por restreñimiento. Asimismo, los grandes carnívoros, privados de su dieta, habrían perecido rápidamente. Otra hipótesis relacionada también con las plantas es la de que éstas, como ocurre con muchas de las actuales, evolucionaron hacia formas que contenían toxinas más letales como autodefensa contra los herbívoros, por lo que las bestias gigantes habrían muerto envenenadas. Otra posible explicación se ha centrado en los bruscos cambios climáticos provocados por una supernova, o por un aumento del dióxido de carbono atmosférico. Un incremento global de la temperatura, podría haber causado, por ejemplo, una disminución de la fertilidad de los dinosaurios machos ya que el esperma es muy sensible a los aumentos de temperatura. Una de las explicaciones más recientes es que un asteroide de unos diez kilómetros de diámetro pudo colisionar con la Tierra, cavando un cráter de más de cien kilómetros de ancho. El resultado, según se afirma, sería una cortina de humo en la atmósfera que habría bloqueado la fotosíntesis durante casi una década, causando las consiguientes extinciones.[13]

En contraposición, hay quien defiende que fue el desarrollo de los mamíferos la causa principal de la extinción de los dinosaurios, ya que aquéllos comían los huevos de éstos. Un científico ha sugerido que los dinosaurios eran esencialmente autómatas, prisioneros de un comportamiento genéticamente programado. Según él, los mamíferos, mucho más flexibles e inteligentes —los primeros animales capaces de hacer una elección «consciente» para dominar sus programas genéticos—, eran muy capaces de desplazar a los dinosaurios de todos los diversos nichos ecológicos que ocupaban.

Todas estas interpretaciones han recibido una u otra objeción; la «verdad», si llega a conocerse algún día, puede ser una combinación de varias de ellas. Pero por lo que se conoce actualmente sobre la biología de las poblaciones actuales y por la teoría evolutiva en general, no hay duda de que *la clave de la extinción son los cambios del medio ambiente, ya sean físicos o biológicos.*

A veces, quizá muy a menudo, se combinan sutilmente los dos cambios. Por ejemplo, en los años sesenta se estudió una población de unas pequeñas mariposas azules de las montañas de Colorado. Las mariposas, cuyo nombre es *Glaucopsyche lygdamus,* ponen los huevos en los capullos aún cerrados de las flores del altramuz. Las orugas de *Glaucopsyche* devoran luego muchas flores e impiden así

que se formen semillas.

En 1969, una nevada y una helada excepcionalmente extemporáneas destruyeron todos los capullos de altramuz y exterminaron la población de *Glaucopsyche*. Este suceso nos dio la pista de por qué las plantas de altramuz florecen tan pronto —lo bastante para producir semillas mucho antes de que la estación de desarrollo termine—, ya que al florecer muy temprano, corren el riesgo de perder la producción en una temporada si se presenta una helada tardía, como ocurrió en 1969. Pero, la pérdida de las semillas de una estación es un precio insignificante para las plantas, ya que al extinguirse la *Glaucopsyche* se libran del ataque de un herbívoro capaz de destruir gran parte de la producción anual de semillas. Una década después, las mariposas emigrantes habían restablecido la población, pero no con la densidad anterior.[14]

Así pues, la combinación del cambio evolutivo de otra población (altramuces que adelantan la floración) y un cambio climatológico, son la causa de la extinción de la población de *Glaucopsyche*. Si esa población hubiera sido la única existente de *Glaucopsyche lygdamus*, la especie se habría extinguido. Existen buenas razones para pensar que sucesos del tipo que se observó en Colorado —y que pueden haberse repetido durante miles o millones de años—, han sido los responsables de la desaparición de la mayoría de las poblaciones y especies que han existido. Los científicos no sólo no han podido observar la secuencia completa de la especiación en la naturaleza, sino que tampoco han tenido ocasión de observar la extinción de una especie sin intervención humana.

No todas las especies tienen la misma probabilidad de desaparecer bajo la presión de un cambio ambiental. La vulnerabilidad de una especie depende de una extensa gama de factores, como, por ejemplo, el tamaño total de la población, la distribución geográfica, la capacidad reproductora, las relaciones ecológicas con otras especies y las características genéticas. En general, suele considerarse que las especies con reproducción lenta son más vulnerables que las de reproducción rápida.[15] Sin embargo, la situación no es tan sencilla, ya que se suele fijar la atención en unos pocos, relativamente, reproductores lentos y notorios, como el cóndor de California y el elefante, mientras que pasan desapercibidos muchos reproductores rápidos, insectos, por ejemplo. En realidad, existen otros factores, como la especialización en el consumo de una determinada planta, lo que lograría que muchos reproductores rápidos sean más vulnerables que los de reproducción lenta. Por muy rápido que se reproduzca un insecto dependiente de una determinada planta se extinguirá si se altera el hábitat de esa planta.

Un factor más sutil en relación con la vulnerabilidad es la distribución en el espacio de los individuos de una población, es decir, la estructura de la población. Esta característica puede tener una influencia profunda en la susceptibilidad de las poblaciones individuales, y por añadidura de toda la especie, a la extinción. La estructura de la población puede variar muchísimo de una a otra especie, incluso en grupos animales estrechamente relacionados entre sí.

Por ejemplo, existen cinco especies supervivientes de rinocerontes, tres en Asia y dos en África. En Asia, la especie más común es el rinoceronte indio. En esta especie, los individuos de ambos sexos viven solitarios en territorios perfectamente delimitados durante la mayor parte del año. Cada territorio incluye una charca en un pastizal abierto, con un gran estercolero en el centro y estercoleros más pequeños en la periferia. Cuando llega la época del apareamiento, como es lógico, ambos sexos empiezan a deambular en un radio mayor. Al parecer, el apareamiento se produce cuando un macho sexualmente activo tropieza casualmente con una hembra en celo.

El rinoceronte de Sumatra, mucho más raro, deambula por un territorio más amplio. Posiblemente no existan más de 50 a 150 individuos diseminados entre Birmania central y el Norte de Malaya y Sumatra. Cuando en 1966 se realizó en Malaya un trabajo de campo, un biólogo, que había estado estudiando el rinoceronte de Sumatra durante años, sin conseguir ver ninguno, había podido seguir la pista de varios rinocerontes y examinar sus excrementos. Lo más cerca que llegó a estar de estos animales fue una vez que seguía unas huellas de rinoceronte que le llevaron de vuelta al campamento. Sus ayudantes le informaron de que había pasado por allí una hora antes de su llegada.

La tercera especie asiática, el rinoceronte de Java, está prácticamente extinguida, y no se conoce ningún dato acerca de la estructura de su población.

Los dos tipos africanos, el rinoceronte blanco y el negro, presentan hábitos alimenticios muy diferentes. El negro es ramoneador y se ayuda del saliente que tiene en la parte superior del labio para arrancar hojas de arbustos y árboles. El rinoceronte blanco, por el contrario, prefiere pacer en pastos y herbazales. El calificativo «blanco» no se refiere a su color; proviene de un vocablo alemán que significa «amplio», y hace referencia a los labios anchos, rectos.

y a la estructura de la mandíbula, que hace que la boca de un rinoceronte blanco comiendo parezca un aspirador.

Por lo visto, el rinoceronte negro vive en parejas o en solitario, en territorios fijos, mientras que el blanco se desplaza en pequeñas manadas. Sus temperamentos son muy diferentes. El blanco es relativamente pacífico y realmente curioso. Un día estuvimos siguiendo muy de cerca un grupo de ellos con el *land-rover*, en el Wankie National Park (en Zimbabwe, a la sazón Rodesia), pero no dieron signos de agresividad. Por el contrario, una norma de toda excursión africana cuando se está observando rinocerontes negros, es tener el motor siempre en marcha y el vehículo listo.[16]

Los rinocerontes, evidentemente, al igual que todos los grandes animales salvajes, están expuestos al riesgo de que sus hábitats sean fraccionados y destruidos. No obstante, sobre los rinocerontes pesa además una maldición especial. Estos paquidermos de extraño aspecto calaron muy hondo en la mitología occidental como fuente de materias con poderes curativos. Prácticamente todas las partes del rinoceronte poseen un remedio para una determinada parte del cuerpo (dientes, pelos, sangre, órganos internos, etc.). En otra época, el zoo de Calculta montó un gran negocio vendiendo botellines de orina del rinoceronte indio cautivo. Ahora bien, por rentables que resulten estas partes, el valor de las mismas es insignificante si se compara con el cuerno del rinoceronte. Los cuernos (que no son de hueso sino de una masa compacta de pelos) son especialmente apreciados por los indios y los chinos, pues están convencidos de que poseen virtudes afrodisíacas. También se cree que unos trocitos molidos de cuerno, mezclados en una poción, curan una amplia serie de trastornos, enfermedades, desde el sarampión hasta la difteria, y aplicados externamente como cataplasma se consideran un magnífico remedio para los diviesos y la varicela.

Pero lo más perjudicial al rinoceronte es la relación sexual. Debido a su forma fálica, existe en Oriente Medio una gran demanda de cuernos para mangos de puñal. Los puñales de cuerno de rinoceronte son un regalo tradicional en los ritos de pubertad que forman parte del folklore de esa región. Los tallistas del Norte del Yemen trabajaron más de 2.000 cuernos entre 1975 y 1976.[17]

Son precisamente estas cacerías en busca de cuernos lo que ha provocado la eliminación del rinoceronte de Java; de todos modos, si no hubiera sido la caza, el crecimiento de la población humana habría producido los mismos efectos debido a la destrucción de los hábitats. El rinoceronte de Sumatra y el indio han sufrido fuertes presiones, tanto por parte de los cazadores como por la fragmentación y división de sus hábitats. La estructura de las poblaciones resultaría una enorme traba en el caso de que logren recuperarse ya que, cuanto menor es la densidad de la población, menor es la probabilidad de que sus largas caminatas de apareamiento lleguen a buen fin. Por fortuna, el rinoceronte indio puede reproducirse en zoos, lugar en el que al menos, la proximidad artificial es productiva. No obstante, no está claro que los programas para su mantenimiento en grandes reservas funcionen, así que el rinoceronte de Sumatra parece estar definitivamente condenado.

A finales del siglo XIX, aproximarse a un rinoceronte africano blanco, relativamente manso, era fácil, y por ello, fue cazado hasta casi la extinción. Por suerte, se tomaron medidas de conservación a tiempo, y allí donde fue protegido aumenta progresivamente su población, ayudado por la estructura de la misma, ya que no requiere extensas áreas para mantener unidades reproductoras viables.

El rinoceronte negro, con una estructura de población intermedia entre la del blanco y la del indio, no estuvo en dificultades hasta fecha muy reciente. Cuando el cuerno empezó a cotizarse en el mercado a 150 dólares la onza —en 1980 valía casi la cuarta parte del precio del oro— la caza furtiva alcanzó cotas increíbles.[18] Su destino en la naturaleza es actualmente dudoso, pero si se logran mantener unas determinadas áreas protegidas de suficiente extensión, su futuro será sin duda mejor que el del rinoceronte indio.

Como puede observarse, resulta fundamental conocer la estructura de la población, así como las características de una especie amenazada para definir estrategias de conservación. No obstante, antes de volver a temas tan esotéricos como el tamaño óptimo y la forma de las reservas, existen varias cuestiones más elementales a responder con un mayor detenimiento del que se ha llevado a cabo en el capítulo 1.

SEGUNDA PARTE

¿POR QUÉ HEMOS DE PREOCUPARNOS?

3. COMPASIÓN, ESTÉTICA, FASCINACIÓN Y ÉTICA

Los organismos vivos no son sólo un medio, sino un fin. Además de su valor instrumental para los seres humanos y otros organismos vivos, tienen en sí un interés intrínseco.

CHARLES BIRCH
Profesor de Zoología,
Universidad de Sydney, marzo 1979

Casi muerto de miedo, Digit se giró, inerme, dispuesto a enfrentarse a las flechas y perros de Munyarukiko y sus cinco acompañantes. Tenía que ganar tiempo para que su familia escapara hacia la ladera de la montaña. Era su «deber», y aunque quizá supiera que eso significaba la muerte, Digit se mantuvo en su puesto. Para Munyarukiko y otros furtivos, el gorila macho de dorso plateado, erecto, mostrando los caninos, era sin duda alguna una visión terrorífica; más terrorífica aún por la rápida muerte de uno de los perros que se acercó demasiado imprudentemente a las poderosas armas de Digit. No obstante, los gorilas, a pesar de su robustez son muy vulnerables a las flechas que dispara el *Homo sapiens*, mucho más débil físicamente. Digit ganó el tiempo suficiente para que su grupo familiar huyera; a cambio recibió cinco heridas de flecha.

De este modo, en la Nochevieja de 1977, moría, de forma nada atípica, uno de los pocos gorilas de montaña que quedaban vivos. Digit pertenecía a un grupo de gorilas estudiado muy a fondo por Dian Fossey en el monte Visoke del Parque de los Volcanes de Ruanda. Era un amigo, en el sentido estricto de la palabra, tanto de Dian como de los millones de seres humanos que pudieron verle por televisión. Digit había sido filmado mientras examinaba un lápiz de Dian y su block de notas, que devolvió después para tumbarse

a su lado y quedarse dormido. Esta escena inolvidable formaba parte de un programa especial de la *National Geographic Society* para la televisión, que también forma parte de una colección de fragmentos de película de los que la sociedad está, con toda justicia, muy orgullosa.

La tragedia de la muerte de Digit fue enorme debido a las causas que la provocaron. Tanto en Ruanda como en el Zaire, existe la creencia de que ciertas partes del cuerpo de un gorila macho de dorso plateado —testículos, lengua, orejas, trozos de meñique— tienen propiedades mágicas. Utilizadas en una poción adecuada, se cree que matan al enemigo, o al menos, lo dejan impotente. Durante años se han matado gorilas para hacerse con esas partes, y Dian tuvo que luchar contra la desconfianza hacia el ser humano, resultante de esas prácticas, antes de que el gorila se sintiera confiado.

Pero no fue esta tradición del «sumu» (veneno) lo que provocó el asesinato de Digit. Cuando los turistas y otros europeos empezaron a llegar, los furtivos mataban gorilas para vender los cráneos y las manos como recuerdo. Digit no fue asesinado porque la población local estuviera especialmente empobrecida o muriéndose de hambre, sino porque un africano llamado Sebunyana-Zirimwabagabo ofreció a Munyarukiko unos veinte dólares por la cabeza y las manos de un dorso-plateado.[1]

SALVAR ESPECIES: LA COMPASIÓN

Desde luego, muchos seres humanos sienten compasión por los gorilas de montaña como Digit, y desean que el hijo de éste, concebido antes de morir y al que Dian bautizó como «Mwelu» (que en swahili significa «chispa de resplandor y de luz»), tenga la suerte de llevar una existencia digna. Hay también quienes no sienten tal compasión; éstos en general preguntan «¿para qué sirve un gorila?», y concluyen que para nada. En opinión de estas personas, Munyarukiko tenía razón al matar al animal ya que la tierra de los gorilas puede dedicarse a pastos, y los veinte dólares pueden servir para disfrute humano invertidos en la bebida nativa, el *pombe*.

Cabría rebatir este punto de vista con los argumentos clásicos de que la supervivencia de Mwelu y de los demás gorilas beneficiaría mucho más a la humanidad que su extinción. Por ejemplo, mediante el estudio de los gorilas se puede llegar a comprender mejor al ser humano. O bien, los gorilas podrían ser muy útiles para la investigación médica, además de ser aprovechados por las naciones africanas como atracción turística. Si los gorilas desaparecieran de la faz del planeta sería algo desastroso, dejando aparte los valores económicos reales, simplemente porque son muy interesantes y porque su evidente parentesco con el ser humano exige cierta compasión por parte de éste.

Compasión y curiosidad han despertado, de manera similar, otros muchos organismos, por suerte para ellos. Si el ser humano no se *preocupa* de la supervivencia de los demás organismos, es poco probable que muchos de ellos se salven de la extinción. A continuación se hablará de las ballenas, animales cuyo destino servirá para ilustrar un buen número de puntos importantes acerca de la extinción.

Los asesinos de ballenas

Las ballenas y las marsopas —cetáceos— figuran entre los mamíferos más inteligentes. Por complejidad y tamaño, en comparación con el peso corporal, sus cerebros son equiparables al del ser humano. Su grado de inteligencia, es un asunto controvertido, ya que la anatomía y el modo de vida tan diferentes de los del ser humano, dificultan en gran medida la evaluación exacta de su inteligencia.

Todos aquellos que han estudiado y trabajado en torno a estas extraordinarias criaturas han quedado muy impresionados por su mansedumbre, inteligencia y rapidez de aprendizaje. Parece ser que poseen sistemas de comunicación muy complejos y efectivos —el rico y obsesivo canto del gubarte es quizás el ejemplo mejor conocido. Quienes han nadado entre las ballenas cuentan que no han sentido miedo, ni siquiera estando cerca de ellas, a pesar de haber podido ser aniquilados de un aletazo.

Por desgracia, el *Homo sapiens* no ha tenido tantos miramientos con ellas. Al contrario, durante siglos el ser humano ha dado caza implacable a las especies más grandes, hasta el punto de que muchas están al borde de la extinción. Las armas empleadas abarcan una amplia gama, desde flechas y lanzas envenenadas hasta arpones y descargas eléctricas. Durante el siglo pasado, el arma preferida fue el cañón arponero, que dispara un arpón con cabeza explosiva de hierro, controlada por una espoleta con mecanismo de

relojería que hace detonar la carga una vez se encuentra en el interior de la ballena. Si el primero falla, se dispara un segundo «arpón de muerte» que resulta definitivo.[2] La muerte es a veces instantánea, pero en general la ballena tarda entre uno y treinta minutos en morir de miedo y de dolor.

Un periodista australiano, describía así el arponeo de dos ballenas en 1977:

> En medio de un gran remolino de sangre, espuma y miedo, la ballena se zambulló directamente hacia abajo, sin dejar tiempo a la fortuna, desplegándose así los garfios del arpón para hacer mejor presa en ella y sujetarla.
> Permaneció sumergida y el cazador viró alrededor para mantener la escalofriante soga de frente.
> ... El mar estaba rojo a nuestro alrededor, mientras la ballena luchaba por vivir, pero murió.[3]

Luego describe la muerte de la segunda ballena del siguiente modo:

> La ballena se zambulló, y una enorme nube verde reventó en la superficie. La sangre se vuelve verde a quince metros bajo el agua... ¿o eran sus intestinos?
> Salió por el lado de estribor, sacudiendo su enorme cabeza, la tercera parte de todo su cuerpo; entonces emitió un terrible alarido, medio de protesta, medio de dolor; luego, volvió a sumergirse.
> Cargaron el siguiente arpón, el de la muerte, pero no pudieron disparar porque giraba y se contorsionaba, y así cada vez se lastimaba más. Por fin, el vigía gritó desde la cofa que subía, moribunda. La boca se le abría.

Tales horrores eran tolerados —de hecho, hasta practicados— por naciones supuestamente civilizadas, mucho después de que se establecieran métodos más humanos y menos dolorosos para el sacrificio del ganado (que por otra parte es mucho menos inteligente que las ballenas), y de que se dictaran leyes contra la crueldad hacia los animales. Quizá porque las matanzas de ballenas se realizaban mar adentro, lejos de la vista del público, y por lo poco que la mayoría de las personas conoce acerca de estas magníficas criaturas, las protestas contra ese tipo de prácticas han sido escasas hasta hace poco tiempo.

Pero en los años sesenta y setenta, las actividades de las organizaciones protectoras han conseguido atraer la atención del público mundial al dar publicidad a la sobreexplotación que estaban sufriendo las ballenas. Los documentales para el cine y la televisión realizados en diversos parques costeros de marsopas y orcas —especialmente los de Jacques Cousteau— han causado sensación. Es dudoso que estos ágiles y encantadores animales se conviertan en mascotas amaestradas, pero sus enormes primos tienen con ellos una deuda de gratitud por haber ayudado a que muchos seres humanos supieran qué es un cetáceo. Si las ballenas han de salvarse para disfrute de las generaciones venideras, será porque millones de personas han aprendido a interesarse por ellas y han luchado por su supervivencia.

VALORES ESTÉTICOS

Muchos seres vivos poseen lo que convencionalmente se ha dado en llamar belleza. Aves, mariposas, flores y otros muchos han recibido general reconocimiento como recursos estéticos. Esa belleza puede también convertirse en un recurso económico, como lo atestigua el comercio de acuarios y las floristerías. Existe además un segundo tipo de belleza: la belleza del interés que despierta, incluso más que la convencional, en la mirada del espectador. La historia de la oposición a la caza de ballenas es, en parte, la historia de quienes han llegado a encontrar belleza en esos animales.

Existen millones de poblaciones y especies aún más extrañas para la humanidad que las ballenas, cuya existencia no está menos amenazada que la de éstas por la acción humana. También ellas merecen aprecio e interés ya que pueden ser convencionalmente bellas, y si no se las ha reconocido como tales es porque apenas nadie las ha visto o porque son muy pequeñas. No obstante, todas poseen la belleza del interés, es decir, la belleza de la complejidad, de la elaboración de su diseño, de su comportamiento inusual, de su gran antigüedad, así como la capacidad de fascinar. Ambos tipos de belleza están presentes en los insectos: grupo que muchos encuentran repelente y que intentan evitar por todos los medios.

El mundo de los insectos

Cualquier pequeño insecto de los que acostumbran a fumigarse con un insecticida, es «una maravilla irremplazable, equivalente a las obras de arte que se guardan con religioso celo en los museos».

Nadie que esté íntimamente familiarizado con el grupo de animales que mayor éxito de supervivencia tiene en el planeta se atrevería a discutir esta afirmación del antropólogo francés Claude Lévi-Strauss.[4]

Por desgracia, poca gente es consciente de la enorme diversidad, complejidad y belleza de los insectos. Quizás una persona de cada 100.000 colecciona o estudia mariposas en Estados Unidos, indiscutiblemente, uno de los grupos de organismos más hermosos que existen, con unas 15.000 especies conocidas en todo el mundo. Los indígenas de las tribus de Nueva Guinea emplean la mariposa revoloteadora gigante, azul iridiscente, verde y dorada, como adorno para el cabello.[5] Las alas de la también azul iridiscente mariposa *Morpho* se han empleado con tal profusión en Brasil para decorar bandejas y otros objetos turísticos, que se han tenido que dictar leyes para protegerlas. Las alas de *Morpho* tienen un valor especial porque, al igual que otros colores de insectos iridiscentes o metálicos, son indelebles.[6]

Muchos más insectos, aparte de las mariposas, poseen una gran belleza, aunque a menudo se precisa un microscopio para apreciarlo. Por ejemplo, algunas abejas y moscas pequeñas parecen estar labradas en oro puro.

Pero los insectos pueden servir mejor como ejemplo de la belleza del interés. Son un recurso estético mundial inmenso y una fuente potencial de fascinación, que, por el momento, ha sido infrautilizado. La belleza de algunos insectos eclipsa a veces a la *Mona Lisa*, su variedad deja en ridículo los sellos de correos, su miniaturización sobrepasa con mucho los mejores esfuerzos de los ingenieros humanos, y el drama de su existencia puede competir con los imaginados por el mejor autor teatral. Ésta es la razón por la que la creatividad humana en cuanto a belleza, variedad y construcción siempre haya buscado sus fuentes primarias de inspiración en la naturaleza. Resulta irónico que la sociedad occidental busque constantemente nuevas diversiones para llenar el tiempo libre, y a la vez sea capaz de exterminar un grupo de minúsculos animales cuyo estudio ha cautivado a miles de personas y puede llegar a cautivar a millones más.

Cuando uno llega a familiarizarse con los insectos, dejan de ser poco a poco una masa amorfa de bichos para convertirse en un grupo altamente diferenciado de remaches en la estructura de la aeronave Tierra, cada uno de ellos con un papel propio a desempeñar y con una fascinante historia que contar a los interesados en

conocerla. Echemos una breve ojeada a algunas historietas del mundo de los insectos, teniendo siempre presente que es sólo una minúscula muestra de un universo parcialmente explorado.

Los escarabajos, por ejemplo, son más de un millón de especies por sí solos. Cuando un teólogo preguntó al famoso biólogo inglés J. B. S. Haldane qué conclusión podría extraer acerca de la naturaleza del Creador a partir del estudio de sus creaciones, dicen que Haldane contestó que Él debe de haber tenido «una afición desmedida por los escarabajos». El insecto más corpulento es el gigantesco escarabajo rinoceronte de los trópicos, cuyo peso supera el de los mamíferos más pequeños (ciertas especies de musaraña). Los machos emplean sus grotescos cuernos en violentas batallas liliputienses contra las hembras. Entre los insectos más pequeños se encuentran los escarabajos ptílidos, con un tamaño no superior a los puntos de una página escrita, y aun así cada individuo posee seis patas funcionales, un par de alas, un sistema nervioso completo, un tracto digestivo también completo y órganos reproductores.

Investigaciones recientes han puesto de manifiesto los elaborados medios que han desarrollado los escarabajos para zafarse de sus enemigos. El bombardeo es un especialista en la guerra química. El biólogo Thomas Eisner, de la *Cornell University*, ha conseguido magníficas películas sobre el comportamiento de este pequeño insecto cuando es atacado por una hormiga (o por un par de tenazas que imitan a una hormiga). El extremo anal del escarabajo contiene un par de glándulas y una cavidad donde se mezcla la secreción glandular con enzimas cristalinos. Cuando una hormiga captura la pata de un escarabajo, el extremo flexible del abdomen de éste se dirige hacia el atacante, y mediante contracciones musculares la secreción entra en la cavidad y allí se mezcla con los enzimas. La reacción resultante produce una explosión química y la emisión de un chorro de vapor caliente, una rociada muy poco agradable que pone en fuga a la hormiga. Fotografías de alta velocidad han revelado recientemente que esta rociada no es continua, sino que gracias a la ingeniosa estructura de la cavidad, se expulsa a razón de cien veces por segundo, lo cual asegura que la reacción funciona como es debido y previene además calentamientos internos.[7]

Tom Eisner se ha convertido en uno de los biólogos más respetados de mundo merced a sus estudios sobre cómo interaccionan los insectos y otros artrópodos con sus enemigos. En muchos casos, ha descubierto que, al igual que el bombardero, utilizan la gue-

rra química. Pero lo que los hallazgos de Eisner y sus alumnos demuestran es que si se observan bastante de cerca y con detalle estos insectos puede descubrirse que todo es posible en este mundo de artrópodos de seis patas.

Un ex alumno de Eisner, James Lloyd, de la Universidad de Florida, se ha dedicado al estudio de las luciérnagas. La débil luz que emiten no sirve únicamente de disfrute para los amantes humanos que se balancean en el porche, en las cálidas noches de verano, sino que concierne al propio sexo de la luciérnaga. Los machos de una especie vuelan de aquí para allá, emitiendo destellos según una pauta característica de esa especie. La hembra permanece inmóvil, responde del mismo modo y ambos sexos se reúnen. Lloyd descubrió que algunas hembras de luciérnaga imitan las señales de otras especies, transmitiendo este código seductor y cuando llega un macho enamorado de otra especie, ¡lo cazan rápidamente y se lo comen![8]

Las hembras voraces son muy comunes en el mundo de los insectos. Después de la cópula, la voluminosa hembra de mantis religiosa devora a su pareja, de menor tamaño. Las hembras de las moscas bailarinas primitivas —depredadoras enanas— capturan y se comen a los machos que las cortejan. En las moscas bailarinas más evolucionadas, los machos llevan un «regalo» a la hembra para distraerla y evitar ser devorados durante la cópula. El regalo más sencillo consiste simplemente en una mosca muerta de otra especie para que la hembra se la coma. Un estadio más evolucionado del ritual tiene lugar en las especies de mosca bailarina cuyos machos forman enjambres para atraer a las hembras. Los machos añaden trozos de seda a las ofrendas de moscas muertas para que el enjambre resulte más atractivo. Otras especies encierran la presa en una bola de seda, y a veces aquélla es tan pequeña respecto a la bola que la hembra no llega a comerla, sino que únicamente la hembra se distrae con la bola. En las especies que han alcanzado la etapa más evolucionada, la bola no contiene ninguna presa. En ese caso, la hembra permanece distraída con su «juguete» y el macho copula sin peligro. No se encuentra nada parecido en especies superiores.[9]

Los hábitos dietéticos de los insectos presentan una variedad que rivaliza o supera a la del resto de los grupos de animales juntos. Prácticamente todas las partes de cualquier planta existente recibe el ataque de algún insecto. Succionan las raíces, invaden los frutos, perforan el tronco y las semillas, devoran las flores y roen las hojas.

Las orugas de algunas diminutas polillas se desarrollan como mineros foliares, viviendo siempre en el interior de una fina hoja en la que excavan largas galerías serpenteantes. Las crías de unas avispas de tamaño diminuto estudiadas por Alfred Kinsey antes de dedicarse al estudio de los hábitos sexuales de los organismos superiores, atacan las hojas de un modo que provoca la formación de agallas en las que la avispa completa su desarrollo. Las hormigas cortahojas eliminan el follaje de grandes árboles del bosque tropical —no para comer las hojas en sí, sino para usarlas en los nidos como pajote sobre el cual crecerán los hongos que les sirven de alimento.

Los insectos depredadores atacan a cualquier animal, desde el minúsculo ácaro y otros insectos hasta el elefante o el propio ser humano. Pueden excavar trampas arenosas donde aguardan a sus víctimas (como la hormiga león y la fase larvaria del escarabajo cazador). Estos insectos, como las mariquitas, pueden pacer sobre presas indefensas (la mayoría de los áfidos sorben los jugos de las plantas), o, como la avispa *pepsis*, entablar duelos a muerte con arañas gigantes, de los que la avispa sale siempre vencedora. Los jóvenes de mosca negra viven en minúsculos organismos sometidos a corrientes rápidas; los adultos se nutren de la sangre de otros animales, entre ellos la del *Homo sapiens*. Algunos insectos parásitos ponen huevos en otros insectos, o en plantas donde otros insectos se los comerán. Después, los parásitos jóvenes devorarán a sus desventuradas presas desde el interior, procurando no tocar los órganos vitales para mantenerlas vivas y tener así alimento fresco hasta el último momento.

Una mosca tropical americana, *Dermatobia hominis*, es quizá la que ostenta el título en cuanto a la manera más extraña de reproducirse se refiere *Dermatobia* captura mosquitos sobre los cuales deposita los huevos. Una vez hecha la puesta, deja marchar al cautivo. Cuando éste encuentra un ser humano y le pica, los huevos eclosionan y las jóvenes larvas de *Dermatobia* se deslizan, trompa de mosquito abajo, hasta la piel de la persona. Entonces taladran la piel y continúan allí su desarrollo, llegando a ser al final grandes y dolorosas —manteniendo siempre un agujero hacia el exterior para respirar. *Dermatobia* es una criatura que quizá la humanidad podría eliminar. Pese a todo, es imposible no admirar el ingenioso comportamiento que ha desarrollado.

También existen insectos descomponedores. Éstos ayudan a eliminar los desperdicios, aunque a veces eliminan objetos que no se

consideran como tales. Las termitas descomponen objetos de madera muerta, ayudados por unos protozoos unicelulares que viven en su intestino y que pueden digerir celulosa. Los escarabajos estercoleros o peloteros juegan un grotesco partido de fútbol mientras fabrican pelotas de estiércol; pelotas que hacen rodar hasta un sitio adecuado donde ponen un huevo en su interior y luego lo entierran, asegurando de esta forma una provisión alimenticia adicional a la cría. Además, una gran variedad de moscas, escarabajos y otros insectos colaboran en la descomposición de los cadáveres de otros animales, lo cual representa un papel fundamental para el funcionamiento de los sistemas ecológicos. Las larvas de ciertas especies de moscas diferencian entre tejidos vivos y muertos con tal precisión que antes del descubrimiento de los antibióticos se emplearon extensivamente en medicina para limpiar llagas y prevenir la gangrena. Y a veces aún se siguen empleando con esta finalidad.

Los insectos están increíblemente difundidos tanto en el espacio como en el tiempo. Se los encuentra dentro de las cuevas y volando por las capas altas de la atmósfera, en el Ártico y en el Antártico, en la selva húmeda y en las praderas, en los desiertos, lagos y corrientes de agua. Incluso viven en los pozos de petróleo, los lagos salados y los manantiales termales. Sólo el océano parece estar relativamente libre de ellos, si bien se ha podido observar una de las pocas especies de insectos marinos que existen, un zapatero, en las islas Galápagos. Las cucarachas, algunas de las cuales son residentes poco agradables de los habitáculos humanos, están tan maravillosamente adaptadas al medio ambiente que han permanecido casi invariables durante más de 300 millones de años. Además pueden llegar a sobrevivir al *Homo sapiens* otros cientos de millones de años más, ya que, como la mayoría de los insectos, son muy resistentes a la radiación.

Las librerías están llenas de libros sobre insectos. Podría escribirse un volumen más gordo que éste sobre cómo se comunican las abejas la ubicación y la cantidad de las fuentes de néctar, y sobre ingeniosos experimentos que Karl von Frisch y otros científicos han empleado para descifrar el lenguaje de las mismas. La vida social de los insectos es hoy día uno de los campos más activos de la investigación biológica.[10]

La cuestión aquí es que, aun entre los insectos —grupo que muchos rehúyen y detestan (la entomofobia es un trastorno bien reconocido)— existe una gran riqueza de valores estéticos, no belleza en el sentido convencional, sino el tipo de belleza de la complejidad

y la variedad que cautiva a los entusiastas de las pistolas, trenes y aviones, a los coleccionistas de sellos, forofos de las computadoras y de la ciencia-ficción, bibliófilos, observadores de aves, etc. Un punto importante, a este respecto, es que un bicho nunca es como otro, es decir, no son remaches intercambiables. La comprensión de la unicidad de las especies y poblaciones es fundamental para el argumento clave de la preservación de la diversidad que se desarrollará en el capítulo 5 dedicado al mantenimiento de las funciones del ecosistema.

Otros organismos fascinantes

La capacidad de fascinación impregna toda la biota de la Tierra, y está presente de igual modo en lo feo que en lo bello. Las flores son las depositarias tradicionales de la belleza convencional, pero poseen además otra clase de belleza: la de las intrigantes historias de su vida.

Algunas orquídeas, por ejemplo, parecen hembras de abejas y avispas, con lo que engañan a los correspondientes machos que intentan copular con ellas. Los insectos quedan contentos y las orquídeas polinizadas. Otras orquídeas «drogan» a las abejas antes de fijar el polen en ellas; y existen algunas que atrapan la abeja y le pegan el polen mientras forcejea por salir de un túnel especialmente dispuesto. Las asclepias son más amables con sus insectos polinizadores, simplemente los retienen por las patas en trampas acanaladas. En la lucha por escapar, el insecto se lleva enganchadas las bolsas de polen que depositará en la siguiente flor de asclepia que atrape la misma pata.

La enorme y variada belleza de las flores, tan apreciada por el ser humano, se ha desarrollado con el único fin de permitir a las flores, que carecen de movilidad, engañar a otros organismos para que las ayuden en sus funciones sexuales. Sin embargo, no todas las plantas son atractivas según rigen los cánones humanos. Por ejemplo, muchas personas no reconocen como flores a las hierbas. Éstas son polinizadas por el viento, así que no tienen que molestarse en seducir a pájaros o abejas para que les dispersen el polen. Otras plantas tienen flores quizá más raras que bellas. Las parientes sudafricanas de las asclepias, por ejemplo, pueden mimetizar los ojos, orejas, nariz, ano y heridas de animales superiores que resultan aderezados con el correspondiente olor. Estas flores son polini-

zadas por moscas que normalmente ponen los huevos en los orificios y heridas de vacas y antílopes.[11]

En realidad, las plantas con flor tienen una curiosa relación ambivalente con los animales. Por una parte, desean atraerlos, no sólo para utilizarlas de vehículos transportadores de polen, sino también para que diseminen las semillas. Pero, por otro lado, las plantas son pasto de los herbívoros, a los que deben evitar, bien haciéndose poco conspicuas, bien desarrollando mecanismos químicos de defensa ya que no tienen la opción de huir de sus enemigos.

Belleza y complejidad son características de todo organismo vivo, desde el más pequeño hasta el más voluminoso. Una de las visiones más interesantes que se posee del mundo viviente, fue la primera película que se realizó sobre espiroquetas vivas: esas minúsculas y onduladas bacterias causantes de la sífilis, entre otras enfermedades. Son organismos con forma de espiral, que giran al moverse y que producen la impresión de estar siempre disolviéndose por un extremo y formándose por el otro. De hecho, si se observa al microscopio un pequeño recipiente con agua, se descubrirá un microcosmos tan lleno de organismos unicelulares que puede resultar, cuando menos, tan entretenido como una película. Y cualquiera que haya visto fotografías de caparazones de diatomeas —plantas unicelulares que, como fósiles, sirven a los geólogos para predecir si los estratos contendrán petróleo— sabe que son tan variadas y tan maravillosas como los copos de nieve.

En el extremo opuesto de la escala de tamaños se sitúan de nuevo las ballenas, cuyo atractivo, si se tiene la suerte de llegar a conocerlas, es extraordinario. La mayoría de los contactos que se han tenido con ballenas ocurrieron durante las visitas a la isla hawaiana de Maui, donde se halla la ciudad de Lahaina, otrora floreciente establecimiento ballenero. Lahaina todavía vive de las ballenas, aunque lo que actualmente sustenta su economía son las figurillas, fotos, camisetas, libros e imitaciones de barbas de ballena. Uno de los centros turísticos comerciales más bonitos de esta ciudad es el Whaler's Village, donde se exhiben esqueletos de ballena montados y recuerdos de la pesca de la ballena.

Todo esto se debe a que, en primavera e invierno, las aguas de Maui acogen una población de gubartes, que pueden sobrepasar los quince metros de largo. De repente, la ballena se lanza casi completamente fuera del agua. Parece más bien un salmón oscuro saltando a cámara lenta. Resta suspendida durante un instante, negra, brillante, con las características aletas de un blanco resplandeciente, para luego dejarse caer en el agua, sobre el dorso, en medio de un atronante chapoteo. La escena completa puede repetirse una docena de veces o más, dando cada salto la impresión de ser engañosamente lento para un animal con la eslora de un yate de considerable tamaño, que surgiera de las profundidades.

No se sabe por qué saltan los gubartes. Una explicación carente de interés es que tratan de librarse de los parásitos, pero quizá lo hacen por pura exuberancia. También levanta la aleta caudal fuera del agua y palmotea con ella la superficie, como un gigantesco castor. Herman Melville escribió del gubarte: «Es la más juguetona y alegre de todas las ballenas, y en general produce más espuma y agua blanca que cualquiera de las otras.»[12]

Un día que Paul buceaba en Kaanapali Point con un ayudante voluntario, el vinicultor George Burtness, intentando fotografiar un pez cirujano característico de esta «zona batida» cerca del punto donde rompen las olas, notó de repente en la cabeza un sonido vago, agudo, que al principio achacó a que se le había resquebrajado el tubo de respirar. Luego se dio cuenta de lo que era. Paul y George bucearon hasta el fondo, y tumbados allí, la respiración contenida, asistieron a un celestial concierto de chillidos, gemidos, gruñidos, pitidos y otros sonidos que iban del bajo profundo al soprano alto, abarcando más de 10 octavas: el famoso canto del gubarte.

No es difícil imaginar el terror y el desconcierto que debieron de sentir los balleneros y otros hombres de mar, al oír estos misteriosos sonidos resonar bajo sus barcos. Estos cantos formaban parte desde antiguo de la tradición marinera, pero no pudieron ser explicados hasta los años cincuenta, gracias al trabajo de los científicos, W. E. Schevill, Scott McVay y Roger Payne.[13] Estos bellos y fantasmagóricos cantos pueden durar hasta treinta minutos y repetirse, nota por nota, indefinidamente. Cada ballena parece tener su propia variante del canto, si bien se desconoce aún cuál es su función. La mejor explicación de este fenómeno es que permite a los individuos seguir de cerca a otros miembros del grupo, lo cual resulta razonable en el caso de animales tan sociales.[14]

Desafortunadamente se sabe muy poco acerca de la vida social de las ballenas, pero lo que se conoce es fascinante. Por ejemplo, las hembras con crías están custodiadas por hembras «guardianas». Cuando el trío se halla en aguas profundas, la guardiana nada por debajo de la madre y la cría, como si esperara que cualquier posible peligro hubiera de venir en esa dirección. Cuando el fondo marino

está a la vista, el océano parece un lugar apacible, pero cuando no se puede ver, es inquietante y desorientador.

Las ballenas no sólo poseen un comportamiento fascinante, sino que físicamente son también una maravilla. La ballena azul es el animal más grande que existe en el planeta. Un dinosaurio herbívoro tan gigantesco como el brontosaurio pesaba cincuenta toneladas, mientras que una ballena azul ya pesa esa cantidad antes de llegar a la pubertad; acabado su desarrollo, pesa unas ciento cincuenta toneladas, lo cual supone el peso de más de tres brontosaurios. Su longitud supera los treinta metros, una longitud mayor que la de ningún otro animal. Cuando semejante ballena se coloca verticalmente en el agua, con la cola en la superficie, el hocico queda a suficiente profundidad como para verse expuesto al peso de tres atmósferas. Es muy probable que desciendan a enormes profundidades, más de una milla, donde soportan más de doscientas veces la presión atmosférica que experimenta una persona en tierra a nivel del mar.

El corazón de una ballena azul pesa media tonelada y un niño podría gatear por la arteria principal. Su provisión de sangre asciende a ocho mil litros, lo cual, de ser gasolina, sería suficiente para dar dos vueltas al mundo en un automóvil pequeño. Su cerebro puede pesar más de seis kilos, el cuádruple que el de un adulto humano, y presenta muchas circunvoluciones y otros indicios anatómicos de gran inteligencia lo cual ratifica la habilidad intelectual que se ha observado en ballenas en cautividad.[15]

El caso de las ballenas demuestra, sin lugar a dudas, cómo el conocimiento de determinados animales puede transformar la actitud hacia ellos. Las ballenas fueron consideradas en otro tiempo un mero recurso económico y, como se describirá más adelante, varias especies estuvieron al borde de la extinción por ese motivo. Actualmente se las contempla cada vez más como un recurso estético, no por ello carente de valor económico.

El punto de vista de un biólogo

Decir que la vida del *Homo sapiens* se ha enriquecido estéticamente por contacto con los demás organismos del planeta es decir muy poco. Para un biólogo, cada nuevo día es una fuente potencial de sorpresas agradables, sea el descubrimiento de que «un excremento de ave», en un bosque tropical, es en realidad un cúmulo de bichos de dos colores, agrupados para simular un excremento; sea el hallazgo de que un insecto que se suponía se alimentaba sólo de una planta, de hecho depende de otra para sobrevivir y muchos otros interesantes fenómenos.

No osbtante, que la vida sea interesante para los biólogos ¿es razón suficiente para preservar la diversidad orgánica? Quizá sí, por el placer y la dedicación de esta minoría de *Homo sapiens*, y por lo que sus estudios pueden ofrecer al resto del mundo. Otra razón sería el altísimo número de no biólogos que están, o pueden estarlo en potencia, interesados por esa misma diversidad. Son muchos los niños interesados en la historia natural, tema que los sistemas escolares actuales no fomentan en absoluto.

Además, existen millones de adultos que disfrutan, de un modo u otro, de la naturaleza. Sólo en Estados Unidos existen 8 millones de observadores de aves. En 1965, una encuesta sobre esparcimiento al aire libre mostró que cerca de 20 millones de norteamericanos realizan excursiones al campo y que casi 3 millones de ellos, al año, se dedican a fotografiar la fauna.[16] La acuariofilia —actividad muy ligada a la diversidad piscícola— es la afición más extendida en este país. Los enamorados de las plantas suculentas son tantísimos que el «robo de cactus» está tipificado como delito en el sudoeste de Estados Unidos y existe un número formidable de personas que tienen reptiles y aves como animales domésticos. El interés que despierta la flora de la Stanford University's Jasper Ridge Preserve es tal que se han establecido controles estrictos para evitar que resulte pisoteada algún área de investigación. Por supuesto, los centros de naturaleza y conservación, en Estados Unidos, se cuentan por centenares. Todas estas estadísticas son aplicables a otros muchos países en los que las aficiones naturalistas pueden ser incluso mayores; Winston Churchill y Vladimir Nabokov no escondían su afición a coleccionar mariposas.

El *Explorer* de la Lindblad —un lujoso barco destinado a «cruceros naturalistas»— tiene comprometidos, con años de antelación, sus viajes a la Antártida por parte de personas dispuestas a pagar muchos miles de dólares por chapotear en el guano, por verse rodeadas de miles de pingüinos anidando, por tiritar en botes de goma para ver las focas devoradoras de cangrejos asolearse en los témpanos de hielo, o por trepar escarpados declives para observar cómo anidan los albatros en las Malvinas. El *Explorer* es tan popular que otra compañía ha dispuesto un barco y programado un crucero para emularlo.

Lo mismo cabe decir de los popularísimos safaris a los parques

del Este de África. Nunca olvidaremos el día en que una leona empleó nuestro *land-rover* como escondite para acechar (infructuosamente) un ñu, la primera vez que un elefante macho nos amenazó con una breve carga, o el día que Hugo von Lawick nos presentó los perros salvajes que él y Jane Goodall habían estado estudiando en Serengeti, cada individuo identificado por su pauta de color característica. Tampoco olvidaremos aquella hora que pasamos contemplando cómo dos elefantes se miraban uno a otro, diríase que con amorosa atención, en una charca de Kenia. Las llanuras del Este africano pueden brindar al *Homo sapiens* uno de los últimos atisbos de cómo era la Tierra antes de que la humanidad explorara su superficie.

Claro está que, aunque el número total de visitantes de la Antártida, de las llanuras del Este de África, de los bosques húmedos tropicales u otros lugares exóticos para turismo naturalista es importante, todavía representa una fracción ínfima de la humanidad. Sin embargo, millones de obsevadores de plantas, bichos y aves de jardín constatan que el placer de conocer otros seres vivos no es patrimonio exclusivo de los adinerados. En realidad, un gran número de niños que habitan en barrios marginales se habrán entusiasmado —o podrían entusiasmarse— al ver el nacimiento de una camada de guppy en el acuario de la escuela. O al ver construir un nido de burbujas a un espléndido macho de combatiente, púrpura o azul brillante, para abrazar debajo de éste a su pareja y capturar luego con la boca los huevos fertilizados e inyectarlos en el nido. Ningún encuentro con tiburones, orcas, leones, rinocerontes, elefantes, chimpancés, mariposas exóticas u hormigas cazadoras que Paul haya experimentado en su vida de naturalista de campo le ha impresionado tanto como el descubrimiento que realizó, siendo niño, de que una mariposa de la seda gigante —un polifemo— había emergido de un capullo que había estado observando. Es una emoción nada costosa, al alcance de prácticamente cualquier niño o adulto interesado en el tema.

Ni siquiera es necesario tener experiencia directa con otros seres vivos en la naturaleza para enriquecerse con ellos. Una visita a los primates del zoológico puede proporcionar, a una persona receptiva, datos enciclopédicos sobre el parentesco del ser humano con otros animales, así como sobre lo que esos animales sufren en cautividad.

Pero más allá de la compasión por los leopardos y las crías de foca sacrificados por sus pieles y más allá del deleite del naturalista

por los millones de estilos de vida diferentes creados por la evolución, en todas las sociedades civilizadas parece existir una sensibilidad más profunda hacia otras formas vivas. Esto puede apreciarse en Occidente, como ha señalado el naturalista Jim Fowler, en el uso de símbolos. Estos símbolos incluyen el puma del Mercury Cougar, el halcón del Ford Falcon y el zorro de Audi Fox, y también metáforas y símbolos antiguos y que se han perpetuado a través de los tiempos en frases como tigre real, corazón de león, valiente como un toro, fuerte como un roble, astuto como un zorro y libre como un pájaro. Esto también se pone de manifiesto en símbolos nacionales como el águila doble de Napoleón, el oso de Rusia o el águila norteamericana.

En muchas culturas, los individuos han mantenido relaciones tan especiales con otros elementos vivos, animales en particular, hasta el punto de haberles rendido culto. Estas relaciones sobreviven en las diferentes culturas y en las historias populares para niños, tanto en las de ficción como en las que no lo son. Sería un error sobrestimar la especial importancia que poseen los animales para los niños. La extinción de muchas especies animales privaría a las futuras generaciones infantiles del placer de conocer la versión auténtica de los animales que aparecen en sus libros.

Los individuos de todas las culturas parecen sentirse más «humanos» en el contexto del mundo natural. Éste fue, sin duda alguna, un factor de la huida hacia los extrarradios de las ciudades que se produjo en Estados Unidos después de la segunda Guerra Mundial. Probablemente, el contacto con la naturaleza sea fundamental para el bienestar psicológico humano. Tres biólogos de la Universidad de Wisconsin expresaban su opinión del siguiente modo:

> Por singulares que nos creamos, lo más probable, sin embargo, es que estemos genéticamente programados para vivir en un hábitat natural con aire limpio y un paisaje verde, variado, como cualquier otro mamífero. Estar relajado y sentirse sano quiere decir, por lo general, permitir que nuestro organismo reaccione de la manera prevista por la evolución durante cientos de millones de años. Física y genéticamente, al parecer estamos muy bien adaptados a la sabana tropical, pero como animales culturales que somos, empleamos adaptaciones al pueblo y a la ciudad aprendidas. Durante miles de años, hemos tratado de imitar en nuestro hogar no sólo el clima, sino el ambiente de nuestro pasado evolutivo: calor, aire húmedo, plantas verdes e incluso animales de compañía. Hoy día, si podemos, nos hacemos construir un invernadero o una piscina junto al salón, compramos una casita en el campo o, como mínimo, llevamos los niños de vacaciones

a la playa. Todavía no comprendemos las reacciones psicológicas específicas a la belleza y la diversidad naturales, a las formas y colores (sobre todo al verde) de la naturaleza, a los movimientos y sonidos de otros animales, como las aves, por ejemplo. Pero, es evidente que la naturaleza debería ser considerada como parte de las necesidades biológicas. No puede ser olvidada en las discusiones sobre la política de recursos para el ser humano.[17]

Son muchos los aspectos del comportamiento humano que confirman esta observación, por ejemplo, es bien conocido el efecto sedante del color verde. La gente trata de cultivar plantas incluso en los peores tugurios ciudadanos, y los habitantes de los extrarradios urbanos se suelen rodear de animales —perros, gatos, peces, pájaros— como si trataran de recuperar el tiempo en que los animales eran parte cotidiana de la existencia humana. Quizás el ser humano entienda de forma intuitiva que la conservación de la naturaleza no es sólo una actividad elitista, sino algo fundamental para sustentar su espíritu, cuando no su cuerpo.

EL DERECHO A EXISTIR

Queda aún un argumento más importante en favor de la conservación de las especies, que nada tiene que ver con el balance económico de costes y beneficios que produce a la humanidad. Esencialmente es un problema *ético* basado en un argumento capital para la conservación de todas las especies no humanas. Se trata simplemente del derecho a existir que poseen nuestros compañeros de viaje en la cosmonave Tierra, probablemente los únicos compañeros vivos en todo el Universo.

David Ehrenfeld, en su provocadora obra, *The Arrogance of Humanism*,[18] lo llamaba «el principio de Noé», en honor al más conocido practicante de la conservación de especies de la historia. En opinión de Ehrenfeld, las especies y comunidades deberían conservarse «porque existen y porque su existencia no es sino la expresión actual de un proceso histórico continuo de inmensa antigüedad y majestad. Se considera que una longeva existencia en la naturaleza lleva consigo el derecho irrecusable a una existencia continuada».

Otros muchos personajes —de Buda en adelante— se han cuestionado, sin duda, si la humanidad tiene derecho a matar otros animales, encaminándolos a la extinción. Para muchos de ellos, y

para Ehrenfeld, ésta debe ser una forma extrema de arrogancia por la que cree que es la única forma viva importante, y que sólo a él corresponde decidir si se ha de permitir vivir o no al resto de las especies.

En el fondo, el argumento es religioso. No existe método científico que pruebe que los seres vivos no humanos (o, a este respecto, los humanos) tienen derecho a existir. Esta idea forma parte de una ética defendida por una parte de la humanidad que incluye a Ehrenfeld, al gran ecólogo inglés Charles Elton y a otros muchos preocupados por la conservación. Ehrenfeld califica su punto de vista de «no humanístico», pero dada la controversia que esta terminología ha desatado, es mejor denominarlo no homocéntrico, es decir, no centrado en las necesidades y deseos de la humanidad. En otras palabras, el *Homo sapiens* no es sino uno más entre millones de seres vivos; eso sí, muy numeroso y con un extraordinario poder para dominar al resto del mundo viviente.

El puesto de liderazgo que ha conseguido el *Homo sapiens* lleva implícita una gran responsabilidad moral —una administración, si se desea— a la que no se debe dar la espalda. Quizá *porque* se posee el poder de destruirlos, *se deben respetar los derechos del resto de especies del planeta*.

El ejercicio de esta administración plantea problemas muy complejos de índole práctica y moral; problemas que van desde cómo conseguir que la mayoría de los miembros de nuestra especie acepten la responsabilidad de la administración, hasta cómo tratar las especies que son enemigos declarados del ser humano, por ejemplo, el virus de la viruela y el parásito de la malaria.[19] ¿Qué principio debería reemplazar al chauvinismo humano en la elección entre la preservación de una especie o una población y el bienestar de la sociedad humana o de una fracción de la misma? La valoración de cualquier cosa en términos monetarios proporciona respuestas erróneas en la mayoría de los casos. Se han de desarrollar y aplicar otros patrones de medida para las decisiones que afectan al destino de las especies.

Como se verá más adelante, existen argumentos homocéntricos extremadamente poderosos para preservar la diversidad orgánica, pero todos ellos dejan la existencia de cada población y especie abierta a una negociación aislada. Si se pudiera demostrar, por ejemplo, que la vida de Mwelu —la cría del gorila Digit— no es útil para la humanidad, o que el terreno necesario para el sustento de Mwelu y de otros gorilas de su grupo podría, por el contrario, man-

tener otras diez o veinte personas ¿sería moralmente correcto matar a Mwelu a golpes de lanza y dar caza al resto de la familia de Digit?

Por supuesto que no, y éste es el caso del pez babosa, el sapo houstoniano, la pedicularis de Furbish y multitud de otras formas vivas amenazadas que, al no estar tan emparentadas con el *Homo sapiens* como el gorila, despiertan mucha menos compasión en el ser humano. Así pues, se les debe reconocer el derecho a existir con independencia de si el ser humano las encuentra útiles o atractivas.

Tal como opinan muchos ecólogos, es necesario ampliar el concepto de «derecho» a otras criaturas —en realidad, incluso a los componentes inanimados del ecosistema, como pueden ser las rocas y el suelo— lo cual es necesario y connatural a la evolución cultural del *Homo sapiens*. La preocupación moral del ser humano debe ir más allá de su congénere *Homo sapiens*, y de sus animales domésticos hasta abarcar todo el sistema del que la humanidad forma parte.

La historia de la progresiva ampliación de la inquietud ética de la especie humana abre esperanzas de que la tendencia siga la dirección correcta. Desde la preocupación inicial por la familia o exclusivamente el grupo inmediato, se ha elaborado una tendencia constante a ampliar el círculo de lo que se considera merecedor de un comportamiento ético. Primero se incluyó la tribu, luego la ciudad-estado y, más recientemente, la nación. Durante el siglo XX, la preocupación de muchos grupos se ha ampliado a toda la humanidad.

Hace poco más de un siglo, muchos occidentales pensaban que no había necesidad de comportarse éticamente con ciertos seres humanos ya que, al igual que los esclavos o los miembros de las razas «inferiores», eran excluidos del grupo dominante. Hoy día, pocos occidentales —en realidad, pocos individuos de cualquier cultura— se atreverían a defender semejante punto de vista, a pesar de que el comportamiento no suele estar a la altura de los criterios morales profesados.

Y de la misma manera que la preocupación ética se ha ampliado al resto de los congéneres, así también lo ha hecho para incluir entidades no humanas. Las grandes tradiciones religiosas de Occidente han alimentado, de una forma u otra, la falta de respeto por la naturaleza al destruir el animismo pagano, y en general, han fomentado la idea de que la Tierra es una propiedad humana a explotar según convenga al ser humano.[20] El aprecio de los seres vivos en su contexto natural —la naturaleza salvaje— ha llegado con retraso a Occidente a pesar de formar parte desde antiguo de la cultura y la religión de Oriente. Probablemente, el actual predominio de la cultura occidental puede deberse a su actitud predadora hacia la naturaleza y las demás sociedades. Los primeros colonos norteamericanos, sobre todo, consideraron la naturaleza salvaje como un enemigo mortal que había que conquistar y someter.[21] Tal era el punto de vista que prevalecía hace ciento cincuenta años; sin embargo, la idea de que la naturaleza es un enemigo todavía resta vigente en algunos reductos actualmente. Al hallarse cada vez más dominada la naturaleza salvaje del Este de Estados Unidos durante el siglo XIX, los ciudadanos empezaron a considerar las áreas naturales como refugios ante la ajetreada vida en sociedad. Escritores como Thoreau y Emerson alababan la belleza de la naturaleza salvaje y lo saludable que resultaba para el alma; por otra parte, durante ese siglo prosperó una escuela de paisajistas románticos que se dedicaron a retratar el espectacular escenario natural de Norteamérica.

En los últimos cien años, ha crecido sobremanera el número de norteamericanos y europeos que abogan por el resto del mundo natural. La persona que posiblemente mejor ha desarrollado estas ideas ha sido el héroe de todos los conservacionistas: Aldo Leopold. El desarrollo leopoldiano de una ética de la tierra (término abreviado que emplea para referirse a los ecosistemas naturales) fue la culminación de la vieja tendencia histórica de llevar la ética más allá del estricto grupo familiar:

> La ética de la tierra amplía simplemente los límites de la comunidad para incluir el suelo, el agua, las plantas y los animales, o por decirlo en una palabra, el campo.
>
> ... Por supuesto que una ética de la tierra no puede prevenir la alteración, la gestión y el uso de estos «recursos», pero sí afirmar su derecho a una existencia continuada...
>
> En resumen, la ética de la tierra cambia el papel de *Homo sapiens*. De conquistador de la comunidad terrícola que era, pasa a ser miembro de a pie y un ciudadano más. Ello implica un respeto hacia los miembros individuales y también hacia la comunidad como tal.[22]

Esta opinión de Leopold data de 1948; por desgracia, las actitudes hacia la naturaleza que él deploró —el hecho de que las cosas naturales no tengan valor excepto para quienes las explotan— todavía predominan en la cultura occidental, si bien algo parecido a la ética de la tierra empieza a cuajar en un número creciente de in-

dividuos. Hoy día, el espíritu de Leopold se perpetúa en personas como David Ehrenfeld y Roderick Nash, que arguyen contra el punto de vista homocéntrico de la conservación; el abogado Christopher Stone, que habla en favor de otorgar a las entidades naturales un «standing» en las causas judiciales;[23] Shirley McGreal y sus colaboradores de la International Primate Protection League (Liga Internacional para la Protección de los Primates), que lucha por los derechos de la familia de Digit; el conservacionista David Brower, fundador de Friends of the Earth (Amigos de la Tierra), que pelea por salvar las ballenas, los cañones, las áreas naturales vírgenes, y todos los demás recursos naturales de nuestro planeta; y sir Peter Scott y sus colegas del World Wildlife Fund. El espíritu de Leopold pervive en los miembros de todos esos grupos, así como en la Audubon Society, la Conservation Society, la Nature Conservancy, el Sierra Club, los Defenders of Wildlife, la Wilderness Society, las National and International Wildlife Federations y otras muchas organizaciones que luchan por la preservación de las especies en Estados Unidos y otros lugares. Todos ellos y millones de individuos más creen firmemente que el *Homo sapiens* debería actuar de forma más cuidadosa.

Incluso las personas que todavía poseen una idea homocéntrica con respecto a las especies no humanas y demás objetos naturales están, de alguna manera, contagiadas con la idea de que la ética debería ir más allá del *Homo sapiens*. Ni siquiera los responsables estatales del desarrollo, los ejecutivos de las compañías petrolíferas o los ingenieros militares aprobarían el asesinato masivo de gatos sin amo, a pesar de no ser propiedad de nadie, ni servir absolutamente para nada.

El hecho de que los animales tienen derechos intrínsecos y deben ser protegidos contra posibles abusos, hoy día es un concepto muy extendido actualmente en la sociedad. Esta teoría se patentiza en el rechazo general de espectáculos como el sacrificio de crías de foca en Canadá y la matanza de delfines por los pescadores japoneses, a la vez que se dictan leyes al respecto. La tendencia general en los zoos a alojar los animales en espacios amplios, con entornos relativamente «naturales» y el desarrollo de «parques zoológicos», constituyen otras tantas manifestaciones de preocupación y compasión en torno a las especies.

Es de esperar que la ética de la tierra de Aldo Leopold se extienda rápidamente en los próximos años, como se extendió entre la población de Estados Unidos, en los años iniciales de la década de los setenta. Cuando el momento es propicio, las transformaciones sociales discurren a una velocidad increíble. Las leyes que rigen el trato hacia otras especies siguen siendo hoy por hoy, con mucho, de índole económica, y si existe algo en la cultura humana que no está maduro para el cambio, es el vacilante sistema económico. La ética de la protección del medio ambiente debería independizarse totalmente de la contaminación de las consideraciones económicas a corto plazo. Rod Nash lo expone de forma más dura: «uno no repara en el precio si alguien le amenaza con violar a su hija. Con la ética ambiental hecha realidad, lo mismo puede decirse cuando se intenta violar la tierra».[24]

No obstante, considerando la alta tasa de extinción y deterioro ambiental que prevalece hoy día, no sería muy prudente tratar de convencer a los violadores ambientales de que adopten una nueva ética de la tierra, o que preserven las demás especies porque son bonitas, interesantes o dignas de compasión. Aunque esta nueva ética podría ser adoptada rápida y ampliamente, también podría no serlo jamás. Sin un cambio importante de actitud y comportamiento hacia la naturaleza, las consecuencias *serán catastróficas para todas las especies, incluida la humana*.

Así pues, es interesante redundar en torno a los argumentos homocéntricos en pro de la preservación de la diversidad orgánica, en el convencimiento de que son lo suficientemente contundentes para persuadir hasta al más recalcitrante chauvinista humano de que la protección de los gorilas y del resto de seres vivos, redunda en su propio interés personal.

4. BENEFICIOS ECONÓMICOS DIRECTOS DE LA PRESERVACIÓN DE LAS ESPECIES

Si las especies pueden demostrar su valía a través de su contribución a la agricultura, la tecnología y otras actividades prosaicas, podrán presentar una firme reivindicación a un espacio para su supervivencia en un mundo abarrotado.

NORMAN MYERS,
The Sinking Ark

Los beneficios directos que determinadas especies proporcionan a la humanidad no suelen tenerse en cuenta demasiado y, sin embargo, pueden resultar muy valiosos. En 1955 moría el padre de Paul tras luchar denodadamente durante trece años contra el mal de Hodgkin, una especie de leucemia del sistema linfático. Poco después de su muerte, unos científicos canadienses descubrían que un extracto de hojas de una vincapervinca procedente de Madagascar producía una disminución del número de glóbulos blancos en las ratas. Los químicos de Eli Lilly & Company analizaron las hojas de la vincapervinca y obtuvieron una larga lista de alcaloides, unos productos tóxicos que las plantas sintetizan para protegerse de los animales que las comen y de los parásitos que las infectan.[1] Dos de esos alcaloides, la vincristina y la vinblastina, se han mostrado eficaces en el tratamiento del mal de Hodgkin. En efecto, el tratamiento con vincristina, en combinación con otros agentes químicos, produce actualmente una tasa de remisión muy elevada, y gracias al mismo los pacientes pasan largos períodos en los que no necesitan ningún otro tratamiento, incluso en los estadios más avanzados de la enfermedad.

Así pues, un hallazgo químico de este tipo en una especie vege-

tal podría haber ayudado a prolongar la vida de Bill Ehrlich, y ahora está a disposición de las cinco o seis mil personas que, sólo en Estados Unidos, contraen anualmente el mal de Hodgkin. Para tener una idea de su valor económico, el total de ventas de vincristina en 1979, a escala mundial, fue de 35 millones de dólares.[2] La vincristina se emplea también, junto con otros ingredientes, para combatir una gran variedad de cánceres, incluidos, el cáncer de mama y ciertos cánceres infantiles y enfermedades análogas, incluida una forma de leucemia. Si esa especie de vincapervinca hubiera sido exterminada antes de 1950, la humanidad habría sufrido una gran pérdida, de la que nadie se habría percatado.

BENEFICIOS MÉDICOS

La vincristina de la vincapervinca malgache es sólo un ejemplo de las infinitas maneras en que las plantas y los animales pueden contribuir a beneficiar la salud humana y la medicina. Quizá la mejor manera de apreciar las futuras aportaciones médicas de otras especies a la humanidad sea considerar lo que ya se ha recibido.

Plantas y microorganismos en medicina

Buscar remedios para enfermedades en el reino vegetal es una tradición muy antigua. El empleo en la medicina de la familia de las vincapervinca no es nuevo, e incluso, para el tratamiento del cáncer, se han utilizado plantas de otras familias al menos desde los tiempos de Hipócrates, cuatro siglos antes de Cristo.[3] Pero el empleo masivo de plantas como fuente de medicamentos por parte de los indígenas, indica que esta tradición es mucho más antigua. Por ejemplo, los indios navajos emplean cerca de doscientas plantas con fines medicinales. Los herbolarios y chamanes africanos y asiáticos también utilizan intensivamente las plantas locales, como lo hacen los sistemas médicos tradicionales de China y la India. Tanto en los pictogramas egipcios como en las tablillas de barro de los babilonios, se encuentran inscripciones relativas al empleo de plantas contra las enfermedades. Incluso los neandertales emplearon al parecer plantas medicinales.[4]

En las últimas décadas, los científicos han descubierto que muchas de las plantas empleadas en los sistemas médicos tradicionales

poseen sustancias químicas que son eficaces contra algunas dolencias tratadas. Por ejemplo, los indios peruanos tenían un remedio para ese azote mortal que es la malaria, compuesto de extractos de corteza del quino, un árbol de la familia del café. Las plantas, árboles del género *Cinchona*, viven en Perú, Colombia, Ecuador y Bolivia. El remedio llegó a España en 1639 y los jesuitas se encargaron de difundirlo masivamente, por lo que recibió el nombre de «polvo de jesuita» o «polvo peruano».

El componente activo más importante de la corteza del quino es la quinina, un alcaloide parecido a la vincristina. Se extrajo por vez primera de la corteza en 1820, y estuvo disponible para su venta en 1823. Durante un siglo, la quinina fue el tratamiento básico contra la malaria. La demanda de quinina a mediados del siglo XIX obligó a cultivar el quino en plantaciones y, hacia 1930, a la síntesis de sustancias químicas similares. Estas sustancias han reemplazado hoy día a la quinina, pero su diseño básico estuvo inspirado en el extracto químico de una planta natural.

Las plantas ayudan también al ser humano —sobre todo en los países industriales— a combatir otro tipo de enfermedades mortales: vinculadas al corazón y al sistema circulatorio. La reserpina —alcaloide de *Rauwolfia* (género emparentado con la vincapervinca)— se emplea masivamente en el control de la hipertensión sanguínea. El *Digitalis* (digital) —planta de la familia del dragón— es la fuente de un medicamento básico para el tratamiento de los enfermos crónicos de corazón. Esa sustancia estimula el bombeo de sangre por el corazón con un gasto energético menor.

Los médicos utilizan las hojas secas de *Digitalis* y los ingredientes activos extraídos de ellas, en cantidades ínfimas. Una dosis oral típica viene a ser del orden de unas treinta cienmilésimas de gramo. Una dosis superior produce náuseas, vómitos, pérdida de apetito, vista nublada y muerte, lo que demuestra la eficacia de las defensas químicas del digital contra los animales ramoneadores.

Las plantas han desarrollado defensas muy ingeniosas contra los mamíferos que podrían comérselas. Ciertos hongos, cactus, parientes de la ortiga, legumbres, plantas de la familia de la patata, dondiegos y amapolas, por nombrar unas cuantas, contienen sustancias químicas con efectos graves sobre el sistema nervioso que producen alucinaciones o depresión.

En cualquier parte del mundo existen seres humanos que hacen uso de plantas psicoactivas con fines religiosos o recreativos. No está muy claro si esto ha de considerarse como un beneficio deriva-

do de otras especies, ya que, al menos en Estados Unidos y en otras naciones, el coste de la drogadicción es muy elevado; lo que es indiscutible son los enormes beneficios que se han obtenido de la planta psicoactiva más famosa, la adormidera. Calmantes como la morfina y la codeína son alcaloides derivados del opio, si bien, han de emplearse con sumo cuidado ya que es fácil habituarse. En algunos países, otro derivado del opio, la heroína, se suministra para calmar el dolor en pacientes terminales.

Existe abundante literatura sobre productos vegetales que afectan a la salud humana.[5] Los ejemplos que se han ofrecido aquí son sólo una ínfima parte de las drogas anticáncer, diuréticos, tratamientos contra la disentería, productos antiparasitarios, dentífricos, calmantes dentales, remedios para úlceras, laxantes, tratamientos contra enfermedades venéreas y demás, que el *Homo sapiens* ha obtenido únicamente de las plantas superiores.

La contribución total de las plantas a la medicina actual se puede valorar gracias a la presencia de productos químicos de origen vegetal que actúan ingredientes principales o únicos de casi la cuarta parte de todas las prescripciones que anualmente se libran en Estados Unidos. Los productos derivados de las plantas inferiores y bacterias representan el 13 % restante. Una proporción similar de compuestos de origen vegetal se encuentra en los productos farmacéuticos sin prescripción facultativa. Además, resulta más económico y sencillo obtener 69 de las 76 drogas vegetales principales comercialmente a partir de la propia planta que sintetizarlas. Estados Unidos y otros países industrializados necesitan importar, de los países en desarrollo, la mayor parte de la materia prima vegetal que se emplea en la fabricación de medicamentos.

Otras especies que han brindado una ayuda inestimable a la humanidad son, sin duda, los hongos inferiores y las bacterias. En muchas culturas precientíficas, se recomendaba aplicar a las heridas infusiones de pan enmohecido. Como tantos otros remedios populares, éste resultó ser bastante ineficaz. Después del descubrimiento de Pasteur en 1877, los científicos repararon una y otra vez en que la presencia de ciertos hongos y bacterias inhibía el crecimiento de otros hongos y bacterias. En 1928, sir Alexander Fleming observó que un moho, *Penicillium notatum,* que había contaminado una placa de cultivo de bacterias, mataba la bacteria *Staphylococcus aureus* (una especie que puede causar furúnculos y carbunco). Fleming, en una publicación de 1928, sugería que la sustancia bactericida del hongo podía tener valor terapéutico, iniciando de ese

modo la carrera del primero y más conocido antibiótico: la penicilina.

En estos momentos se conocen casi mil antibióticos. Algunos, como la penicilina, provienen de hongos, como, por ejemplo, la cefalosporina C y griseofulvina. Otros, como la bacitracina, la cloromicina, la eritromicina, la estreptomicina y la tetraciclina, son de origen bacteriano. También en las plantas superiores se han encontrado algunos antibióticos, aunque ninguno de ellos se ha empleado todavía con fines médicos.

Cualquier persona que haya nacido después de la segunda Guerra Mundial conoce perfectamente la repercusión que han tenido los antibióticos en la salud humana. Los temores que producían una gran variedad de lesiones y enfermedades han desaparecido por completo. Las heridas de guerra y las operaciones quirúrgicas son mucho menos mortíferas desde que es posible disponer de antibióticos para controlar las infecciones bacterianas. Azotes como la peste bubónica, la tuberculosis, el tifus epidémico, la fiebre tifoidea, la escarlatina, la difteria, la neumonía bacteriana, la sífilis y la gonorrea y todo el espectro en sí de enfermedades causadas por bacterias pudieron ser tratadas con mucha más eficacia.

Después de la guerra, los antibióticos se extendieron poco a poco en todo el mundo. De hecho, es más fácil conseguir estos antibióticos en las selvas de algunos países pobres que en Estados Unidos, donde su distribución está más controlada. Junto al uso de pesticidas sintéticos contra los mosquitos de la malaria y otros organismos causantes de enfermedades, el empleo de antibióticos ha conllevado una brusca caída de la tasa de defunción, sobre todo entre los jóvenes. Esto, a su vez, ha provocado la explosión demográfica de los países pobres, que antes tenían altas tasas de natalidad y mortalidad. El control de las enfermedades ha logrado disminuir el número de fallecimientos, pero no ha afectado significativamente a la tasa de nacimientos.

Asegurando futuros beneficios

Resulta irónico que la explosión masiva de la población, debida en parte a los antibióticos, pueda limitar el acceso futuro del *Homo sapiens* a nuevos antibióticos y otros productos vegetales de utilidad terapéutica. La búsqueda ha de proseguir, ya que se han de encontrar sustitutos de los actuales que resulten eficaces cuando las bacte-

rias se hagan resistentes a éstos. Las fuentes potenciales más prometedoras parecen ser las plantas superiores, que también son víctimas de los ataques de hongos y bacterias, y, por lo visto, a menudo han desarrollado la capacidad peculiar de producir antibióticos.

Las reservas más importantes de la Tierra en cuanto a especies de plantas superiores se refiere son las selvas tropicales. Y éstos son los hábitats del planeta más amenazados, en parte debido al crecimiento explosivo de la población humana que ha tenido lugar en los trópicos.

Desgraciadamente, a pesar de los enormes beneficios médicos que el *Homo sapiens* ha obtenido de mundo botánico, la investigación sistemática de la utilidad de las especies vegetales como medicamentos está prácticamente virgen. Por ejemplo, según el conservacionista Norman Myers, sólo un 2 % de las plantas con flor —unas cinco mil especies— ha sido ensayado en busca de alcaloides.[6]

Sin embargo, los pocos experimentos realizados han proporcionado una lista impresionante de compuestos útiles. El cuarto de millón de plantas con flor estimado, es en potencia una mina de oro en cuanto a nuevos productos químicos beneficiosos se refiere. Con el programa del Instituto Nacional del Cáncer, cuyo presupuesto es de cerca de millón y medio de dólares al año, se ha analizado, grosso modo, algo más del de esas especies vegetales. De momento, sólo quince especies han proporcionado sustancias lo suficiente eficaces como para ensayarlas en pacientes humanos.[7]

El hecho de que las plantas hayan sido «analizadas grosso modo», se debe a que las sustancias químicas defensivas de las plantas presentan una distribución muy irregular ya que, a menudo se encuentran en una parte de la planta y no en el resto. Unas, por ejemplo, estarán en las semillas, pero no en las hojas, e incluso pueden tener distintas concentraciones de sustancias según el tipo o la edad. También pueden producirse variaciones de distribución muy considerables entre plantas individuales, así como distintas poblaciones de la misma especie pueden variar radicalmente en su espectro de defensas químicas.

De ahí que el rastreo exhaustivo en busca de compuestos defensivos, incluso en una especie individual, sea un proceso tan difícil y laborioso que ningún biólogo con conocimiento de causa se atrevería a afirmar que se ha analizado exhaustivamente siquiera *una* especie relativamente extendida. Si la civilización desea aprovechar al máximo la potencial prodigalidad del mundo vegetal, es necesario ir más allá de la preservación de las especies, además de conservar la variabilidad *dentro de cada especie*.

Desgraciadamente, la humanidad no está actualmente bien organizada para extraer beneficios sustanciales del potencial medicamentoso de las plantas del mundo. La exploración y el rastreo son arriesgados, penosos y caros. Las empresas farmacéuticas han sufrido pérdidas debido a los riesgos que esto conlleva, a veces, agravado por la falta de preparación adecuada del personal que realiza el trabajo.[8] Por ello, estas empresas se muestran comprensiblemente reacias a lanzarse a largos programas de exploración en busca de nuevas fuentes vegetales.

Probablemente, el tipo de programa necesario —con fuertes inversiones económicas para que un personal adecuadamente preparado pueda llevar a cabo la exploración y los sondeos preliminares— podría ser organizado por instituciones gubernamentales. De esta forma, los compuestos interesantes podrían quedar luego a disposición de las empresas que quisieran adquirirlos. O bien, podrían financiarse los programas exploratorios añadiendo un impuesto sobre los medicamentos. En 1980, el valor de los medicamentos derivados de plantas superó probablemente los seis mil millones de dólares, sólo en Estados Unidos. El 3 % de esta cifra permitiría disponer de 200 millones de dólares al año para investigar con suficiente garantía especies vegetales tropicales como fuentes de medicamentos.

Esos programas serían, desde luego, una buena inversión, dado que los insignificantes esfuerzos realizados hasta ahora han proporcionado sustanciosos beneficios. Por otra parte, como los problemas con que se enfrenta el ser humano cambian con el tiempo, y también cambia su capacidad para hacerse preguntas, hasta las especies perfectamente estudiadas y consideradas hoy día inútiles para la medicina deberían ser preservadas en la esperanza de que futuras generaciones las encuentren útiles. Después de todo, el *Penicillium notatum* (hongo del que se extrae la penicilina) no servía para nada en la época de la Guerra Civil norteamericana, cuando aún no se conocía el papel de los «gérmenes» como causantes de enfermedades.

Por este motivo, un aspecto importantísimo de un programa de búsqueda de fuentes vegetales de medicamentos es la preservación de las comunidades naturales de plantas, en especial las ricas selvas tropicales.

Aportaciones de las especies animales a la medicina

Lo que la naturaleza ha aportado a la medicina, o puede aportar en potencia, no se limita únicamente a las sustancias bioquímicas de origen vegetal. Los extractos de ciertos animales marinos emparentados con los constructores de los gigantescos arrecifes coralinos, se han revelado como posibles agentes anticancerígenos, como, por ejemplo, las esponjas marinas de las que se ha extraído antibióticos de amplio espectro.[9] Asimismo, existen al parecer sustancias potencialmente anticancerígenas en una amplísima variedad de animales marinos, como anémonas, anélidos, almejas, pepinos de mar, ascidias, briozoos, nemertinos, tiburones y pastinacas. Los animales marinos han proporcionado sustancias con una amplia gama de usos en medicina, desde compuestos antivíricos y bactericidas, hasta anticoagulantes, anticonceptivos, así como sustancias básicas para el control de las úlceras y de la hipertensión.[10] La citarabina, que se obtiene de una esponja, se emplea en el tratamiento de la leucemia y, por sus propiedades antivíricas, contra el herpes.[11] Cuando se utilizan los océanos como vertedero final de agentes contaminantes, en definitiva lo que se está haciendo es atacar una vasta farmacopea, cuyos componentes, como los de las selvas tropicales, apenas se han empezado a estudiar.

Otras drogas de origen animal tienen también aplicación médica. Por ejemplo, el *ancrod* —el veneno de un crotálido de Sumatra, pariente de la serpiente cascabel— se emplea como anticoagulante, es decir, como un agente que previene la formación de coágulos en la sangre, responsables, entre otras cosas, de los ataques de corazón. Se sabe que el veneno de las abejas alivia la artritis, y que una secreción de las larvas de moscarda acelera la cicatrización.

Sin embargo, la principal contribución de los animales a la medicina ha tenido lugar en el campo de la investigación y la experimentación de las enfermedades y la salud humanas. Ratas, ratones, monos rhesus, chimpancés y otros muchos animales más han servido como sustitutos del ser humano en una variedad enorme de experimentos médicos y en ensayos de seguridad de posibles toxinas y agentes cancerígenos. Asimismo, la investigación sobre especies exóticas de animales salvajes ha contribuido al conocimiento de la psicología humana. Por ejemplo, el estudio del comportamiento

de los elefantes sometidos a tensiones nerviosas en diferentes tipos de hábitat, puede brindar las claves del origen ambiental de las enfermedades cardiacas del ser humano.[12] El calamar ha desempeñado un papel primordial en la investigación del funcionamiento de los nervios, los humanos incluidos. Por su parte, el microbio de la lepra se cultiva mucho mejor en armadillos.[13]

El pinché común se ha revelado como un excelente animal de investigación para el desarrollo de una vacuna contra un tipo de cáncer parecido al mal de Hodgkin, producido por un virus del herpes. Este trabajo demostró que en esa especie, bastante próxima al *Homo sapiens*, se puede prevenir el cáncer mediante inmunización. Un trabajo similar ha puesto de relieve que un virus, tenido por agente causal de cáncer humano, es igualmente cancerígeno para los pinchés y los monos de noche. Es posible que experimentos con éstos u otros primates no humanos menos frecuentes lleven al desarrollo de vacunas eficaces contra algunos tipos de cáncer del ser humano.

Moscas de la fruta, ratones, conejillos de Indias, avispas, salamandras, ranas de uñas africanas, erizos de mar y mariposas son sólo un botón de muestra de los animales que han ayudado a los científicos a comprender las bases de la genética y la embriología y, en consecuencia, de la herencia y el desarrollo humanos (en este campo también han desempeñado un papel importante los mohos y las bacterias). Por consiguiente, los animales empleados en la investigación han ayudado en la lucha contra las enfermedades y defectos de nacimiento, como el mongolismo, la enfermedad de Tay-Sachs y la anemia falciforme. Este tipo de investigación permite concebir grandes esperanzas en la resolución satisfactoria del problema del cáncer, enfermedad que constituye una alteración del control genético de las células. No obstante, es imposible predecir qué animales de los aún no estudiados pueden ser instrumentos experimentales decisivos en la lucha contra esa temible familia de enfermedades.

La utilización de otras especies animales en pro de la salud humana plantea problemas morales relacionados con los «derechos» de las demás especies a existir. Cuando una especie es útil, ¿tiene derecho la humanidad a explotarla hasta la extinción, o, por el contrario, el *Homo sapiens* está obligado a protegerla y prodigarle la máxima atención? ¿Qué tipo de experimentos y con qué tipo de animales son moralmente aceptables? Desde luego, sólo un necio recomendaría sobreexplotar un organismo útil.

Sin embargo, en cuanto a los cuidados que han de tenerse en la explotación, existe una división de opiniones, incluso entre los biólogos. La mayoría coincidiría en que cuanto más parecido al ser humano es un animal, mayor es su capacidad de sufrimiento y más compasivo y moderado debe ser el trato dispensado. En el curso de múltiples investigaciones, se ha dado muerte a muchas mariposas y peces de arrecife ocasionales, por los que no se siente ningún tipo de remordimiento. Por el contrario, los sentimientos que inspiran el sacrificio de mamíferos son muy distintos.

A veces, cuando una especie amenazada puede proporcionar un beneficio directo a la humanidad, la elección moral es comprometida. En realidad, pocas personas se negarían a comerse los últimos representantes de una especie si la alternativa fuera perecer de hambre. Ni nadie se escandalizaría por sacrificarlos en un experimento médico, si el no hacerlo costara muchas vidas humanas. Sin embargo, la elección no es casi nunca tan clara.

Por ejemplo, la hepatitis B es una enfermedad humana muy extendida, producida por un virus[14] que se transmite mediante transfusiones de sangre, agujas contaminadas de drogadictos, relaciones sexuales, y posiblemente mediante picadura de insectos. La enfermedad raramente es mortal, aunque en los pacientes de avanzada edad, la tasa de defunción puede llegar al 10 ó incluso al 15 %, y los afectados de cualquier edad suelen estar enfermos durante varios meses. En 1976 se presentaron en Estados Unidos del orden de unos 150.000 casos en total, de los cuales el resultado fue fatal en un 1 %.

En 1978 se desató una controversia en torno a la petición que la empresa farmacéutica Merck, Sharp and Dohme realizó al U.S. Fish and Wildlife Service, de importar 125 chimpancés para experimentar una vacuna contra la hepatitis B. Los primatólogos protestaron, pero no debido a que las pruebas fueran especialmente peligrosas para los chimpancés. Cada animal pasaría por una única prueba de bajo riesgo —la vacuna se consideraba muy segura—, y luego se le devolvería a una colonia de cría. Los científicos protestaban por el impacto que producirían las capturas en los pocos chimpancés que quedan en estado salvaje. El método clásico de conseguir estos animales consiste en dar con una madre y su cría, matar la madre y capturar el hijo y la mortalidad entre los jóvenes chimpancés durante el transporte es muy elevada. Un prestigioso primatólogo, Geza Teleki, calculó que para entregar 125 individuos sanos a Estados Unidos, tendrían que morir unos 500 chimpancés.

La empresa Merck explicó que el suministrador de animales en Sierra Leona les había asegurado que la captura la realizarían rodeando entre muchas personas a un grupo de chimpancés y persiguiéndolos hasta que los jóvenes estuvieran cansados. Esta historia, para cualquier persona familiarizada con los chimpancés en estado salvaje, sólo daba fe de la ingenuidad de los ejecutivos de la Merck. Jane Goodall, muy comedida, la calificó de «totalmente extravagante» y Teleki la tachó de «puro disparate».

La réplica de la Merck —por desgracia, muy próxima a la verdad— fue que los chimpancés en estado salvaje estaban condenados a causa de la progresiva destrucción de su hábitat, y que su única esperanza de supervivencia era la cautividad. La Merck señaló que las trabas que se ponían a las empresas norteamericanas sólo servirían para regalar la vacuna a las empresas farmacéuticas polacas y japonesas, que ya tenían contratados los chimpancés (y cuyos gobiernos estaban mucho menos informados que el de Estados Unidos sobre el tema de las especies amenazadas).

Así pues, el dilema parecía bastante claro ya que si no había chimpancés, no había vacuna. ¿Cuántos chimpancés podrían, en conciencia, ser sacrificados para ayudar a curar una dolencia humana muy extendida, pero pocas veces fatal? Si una especie ya está amenazada en la naturaleza, ¿es ello una justificación para reducir aún más la población y poner a los individuos en cautividad? (Este tema se tratará en el capítulo 9.) La opinión generalizada en torno a este tema la resumió muy bien para la revista *Science* el escritor Nicholas Wade: «El mundo tiene una población creciente de cuatro mil millones de seres humanos y una menguante de 50.000 chimpancés. Como la vacuna parece ser inusualmente inocua, y la enfermedad rara vez es fatal, quizá fuera más justo que la población mayor busque una manera de resolver su problema, que no vaya en detrimento de la menos numerosa.»[15] No obstante el permiso fue denegado.

Por fortuna, parece ser que, después de todo, los chimpancés no eran siquiera necesarios. La ardilla de Beechey ha resultado ser sensible a un virus similar, por lo que quizá resulte ser un excelente animal con el que estudiar la hepatitis B. Esta ardilla es muy común en la costa oeste norteamericana y no está amenazada.[16]

En cualquier caso, lo que parecía ser una ardua elección entre el bienestar humano y una especie amenazada, resultó no ser tal. Si la hepatitis B fuera una enfermedad en verdad peligrosa no controlable mediante medidas de salud pública, y los chimpancés fue-

ran, sin lugar a dudas, el único animal apto para probar la vacuna, podría existir una buena justificación para emplearlos. (Claro que, este mismo argumento sería igualmente válido para preservarlos con sumo cuidado.) Cabe encontrar otros seres vivos no amenazados (como la ardilla de Beechey) en sustitución de los amenazados, por lo que podría recurrirse a los criados en cautividad en mayor medida de lo que hoy se hace. La necesidad de utilizar animales superiores —en particular primates amenazados— con fines experimentales, siempre ha de ser valorada cuidadosamente de antemano.

Por último, entre los beneficios obtenidos de las demás especies en el campo de la salud, existen diversos seres vivos que han servido de «catador» de la humanidad por su sensibilidad hacia los agentes contaminantes. En esta línea se han empleado en gran medida los líquenes. Curiosamente, las serpientes tienen también, al parecer, un considerable potencial como indicadores de la contaminación ambiental.[17] Exterminar estos organismos significa dejar descargar las baterías de la alarma de humos.

FUENTES DE ALIMENTO

El mayor beneficio recibido de los demás seres vivos es el alimento que el *Homo sapiens* obtiene de ellos. La mayoría de los alimentos actuales provienen de plantas y animales domesticados, pero todos ellos, naturalmente, tuvieron su origen en especies silvestres, que aún contribuyen de manera significativa a la dieta humana y, por ello, merecen también protección.

Las plantas

En un momento u otro, el ser humano ha utilizado unas tres mil especies de plantas como alimento (cerca del 1 % del total existente). De ellas, sólo se han cultivado comercialmente, en mayor o menor grado, unas ciento cincuenta, y el número de las realmente importantes para la nutrición humana es bastante menor.[18] La base principal de la alimentación humana la constituyen tres especies de gramíneas: el arroz, el trigo y el maíz. La importancia de estos cereales es tal que más de la mitad de los terrenos agrícolas de la Tierra están dedicadas a su cultivo.[19]

Las especies vegetales que sirven de fuente principal de alimento para la mayoría de la humanidad no llegan a veinte, unas cuantas gramíneas más, como el sorgo y el mijo; legumbres como el guisante, la alubia, la soja y el cacahuete (fuentes todas ellas esenciales de proteínas); tubérculos como la patata, el ñame, el boniato y la mandioca; la caña de azúcar y la remolacha; el coco y la banana. La Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos, lo expresa sucintamente: «Estas plantas son el principal baluarte entre la humanidad y el hambre. Es un bastión muy pequeño.»[20] La parquedad de la lista de plantas alimenticias usadas hoy día no se debe originalmente a la falta de otros cultivos potenciales. Pero si se eliminan las plantas aún no explotadas y que son fuentes potenciales de alimento, la humanidad sólo podrá emplear las que ahora son útiles.

En los países tropicales, donde se encuentra la mayor reserva del mundo de diversidad vegetal, la elección de las especies para cultivo y mejora quedó determinada, en gran parte durante la época colonial, por las preferencias de consumo de los países europeos, prescindiendo por completo de las necesidades —y conocimientos— de la población indígena.

La situación no cambió de modo significativo cuando concluyó la etapa colonial. Existían inversiones en investigación y desarrollo de los cultivos ya existentes, los mercados para esos productos vegetales estaban bien establecidos y las naciones recién liberadas no estaban en condiciones económicas de renunciar a las divisas que se habrían perdido durante el período de diversificación y experimentación. Además, los administradores y científicos de los países tropicales se han educado en países de la zona templada, en instituciones como la London School of Economics, y han adquirido las costumbres de las antiguas potencias coloniales, sin preocuparse en buscar nuevas especies tropicales para cultivar. Por último, la influencia europea caló tan hondo que las poblaciones de los países pobres empezaron a occidentalizar su dieta, de manera que existía poca demanda indígena de cultivos tradicionales. Por estas razones, apenas se ha investigado, y mucho menos explotado, el potencial de las especies tropicales como posibles cultivos.

Mientras tanto, la población de los países tropicales ha crecido de forma muy rápida, sobre todo después de la segunda Guerra Mundial, y en varias regiones han sobrepasado su capacidad de autoabastecimiento. En la década de los setenta, al menos quinientos millones de personas —una octava parte de la población

mundial— padecía desnutrición aguda,[21] y la mayoría de esta población, con hambre crónica, vivía en los trópicos. La expansión de la agricultura en un intento de incrementar la producción de alimentos es la causa principal de la desaparición de las áreas naturales, y con ellas se pierden incontables poblaciones y especies que podrían tener un alto potencial agrícola.

La extinción de posibles recursos agrícolas tropicales es especialmente grave debido al fracaso que supone el trasplante de cultivos de zona templada a los trópicos. Por ejemplo, el trigo no crece bien en los trópicos, en parte por que una de sus principales infecciones, el hongo causante de la roya del trigo, se desarrolla en climas húmedos y cálidos. Por consiguiente, uno de los tres grandes cultivos de cereales queda excluido de algunas de las regiones más hambrientas del mundo, que instaladas en el límite de la inanición, son un buen motivo para buscar nuevas fuentes potenciales de cultivos alimenticios. Se conoce ya un buen número de especies prometedoras, que deberían ser explotadas; y, desde luego, es necesaria una exploración sistemática en busca de otras.

Algunas posibles fuentes *conocidas*, son sólo una pequeña parte del potencial, aunque dicho potencial se consume a medida que sucumben las especies vegetales tropicales a causa de las actividades humanas. Además, los actuales cultivos menores, pueden perder la posibilidad de convertirse en mayores debido a la extinción de las poblaciones. La materia prima genética necesaria para su desarrollo puede perderse por exterminio de las poblaciones del propio cultivo o de sus parientes silvestres.

Un grupo de plantas tropicales que pueden resultar útiles como cultivos básicos, incluye varias especies centroamericanas del género *Amaranthus* (de la familia de la celosía o cresta de gallo), cuyas semillas poseen una proteína de altísima calidad. (La mayoría de las proteínas vegetales son de calidad relativamente baja en comparación con las de origen animal). Las hojas de *Amaranthus* son también muy ricas en proteínas y se consumen como si se tratara de una especie de espinacas tropicales. Las semillas de amaranto se habían cultivado en gran medida en Sur y Centroamérica, pero fueron desplazadas completamente por el maíz que resulta de nutrición inferior. Entre otros motivos, los misioneros españoles suprimieron el cultivo de una especie de amaranto porque los aztecas habían centrado en ella algunas de sus ceremonias religiosas. Un comité de la Academia Nacional de Ciencias norteamericana dedicado al estudio de la utilización de las plantas tropicales, ha considerado que

estas especies de amaranto tienen un alto potencial. Esta familia vegetal consta de ochocientas especies, y muchas de ellas crecen en Iberoamérica y África,[22] pero pocas han sido exploradas para su desarrollo como cultivos.

Pueden citarse otros muchos ejemplos. La quinua, una planta de la familia de las espinacas, ha sido una semilla básica desde los tiempos de los incas. En muchos lugares, después de la llegada de los españoles fue sustituida por la cebada, mucho menos nutritiva. En las zonas de gran altitud se cultivan también especies estrechamente emparentadas entre sí que aunque son propias de países «tropicales» pobres como Perú, Bolivia y Ecuador, son cualquier cosa menos tropicales en el sentido usual del término, ya que crecen en climas fríos y montanos. Sin embargo, se espera que mejoren la dieta de los empobrecidos montañeses de cualquier región.

Las mil quinientas especies de la familia de la espinaca muestran también especial capacidad para crecer en suelos salinos. Estos suelos son propios de zonas desiertas y semidesiertas, cada vez más frecuentes debido a que el regadío provoca, generalmente, acumulación de sales en el suelo, lo que a menudo obliga a abandonar las tierras de cultivo. Una vez más, las inversiones en investigación de este grupo de plantas podrían devengar sustanciosos dividendos.

Existe otro grupo de plantas, las llamadas hierbas marinas, que crecen completamente dentro del mar y que podían llegar a ser un importante sustituto de las gramíneas tradicionales en las regiones litorales densamente pobladas. Los indios seri de la costa Oeste de México obtienen, desde hace tiempo, harina de las semillas de una de las dieciocho especies de este grupo. Éste es un cultivo en potencia que no necesita agua dulce, pesticidas ni fertilizantes.[23] Por otro lado, en Australia, una especie de gramínea silvestre (una planta de la misma familia que las gramíneas tradicionales) ha demostrado tener un gran potencial para convertirse en un importante forraje y grano de las regiones áridas.[24]

La misma historia de las gramíneas se repite con las hortalizas, legumbres, raíces y tubérculos, frutas, semillas oleaginosas y cultivos forrajeros. Se conocen plantas no explotadas con valor potencial como cultivos, a pesar de lo escasa que ha resultado la inversión en búsqueda y desarrollo de estos nuevos cultivos; inversión especialmente pequeña en comparación con la magnitud de las necesidades que entraña el problema de la alimentación mundial.

Es importante señalar que el valor potencial de los antepasados de los cultivos actuales, en la mayoría de los casos dista de ser evi-

dente para un observador no especializado. Por ejemplo, en 1978, el genetista israelita Eviatar Nevo encontró en los montes de Galilea, unas plantas silvestres que eran los antepasados del trigo, la cebada y el centeno. Aquellas plantas eran la madre patria de los cultivos que luego se extenderían por todo el mundo, pero no tenía nada de mar ambarino de espigas, ya que apenas si eran unas hierbas inexpresivas, desgarbadas, ridículamente improductivas si se comparan con las plantas cultivadas. La reproducción selectiva realizada durante innumerables generaciones por los campesinos, y, en el siglo XX, por técnicos agrónomos y en este siglo por técnicos agrónomos, ha llevado las variedades agrícolas a los niveles de productividad actuales. Pero en Israel y por todo el Oriente Medio, esta desgarbada «maleza» está desapareciendo casi por completo, presionada por la expansión de las zonas urbanas, la agricultura, el pastoreo y el control de las malas hierbas. En consecuencia, se está perdiendo para siempre su potencial como reserva genética para mejorar las variedades cultivadas.

Lo mismo sucede en cualquier otra región, tanto con los parientes silvestres de las variables actualmente explotadas, como con las especies vegetales cuyo posible valor como cultivos futuros está aún por conocer. Entre los millones de poblaciones y especies de plantas amenazadas hoy día con la extinción, existen, sin duda alguna muchas plantas simples potencialmente equivalentes a los antepasados del trigo y la cebada, pero condenadas a desaparecer sin que nadie repare en ellas.

La situación alimentaria humana, ya bastante precaria, se está volviendo más vulnerable a las hambrunas catastróficas principalmente por dos motivos. En primer lugar, la población humana depende de una serie muy limitada de especies cultivadas, y las posibilidades de ampliar esa serie se están hipotecando a causa de la extinción. Y en segundo lugar, las propias especies hoy en cultivo corren peligro debido al menoscabo de su diversidad genética y a la desaparición de sus parientes silvestres.

Los beneficios de la variabilidad genética

Un ingrediente fundamental del éxito en la selección de un cultivo, ya se trate de mejorar uno existente o de desarrollar uno nuevo, es la variabilidad genética. Para preservar esta variabilidad de la naturaleza, se debe evitar la extinción no ya de la especie, sino de *las poblaciones de cada especie*. Las plantas en estado silvestre desarrollan continuamente nuevos métodos para defenderse de los animales y los microorganismos que las atacan. A su vez, las plagas no cejan en su lucha por desarrollar nuevas maneras de neutralizar las defensas de las plantas.[25] El precio para cada uno de estos sistemas de mantenerse en la «carrera coevolutiva», es disponer de suficiente variabilidad genética para que pueda actuar la selección natural por sí sola.

Una planta cultivada también debe participar en la carrera evolutiva. Hasta cierto punto, los agricultores pueden colaborar en la defensa de los cultivos si utilizan diversos programas de control de plagas, pero el factor central sigue siendo la resistencia innata. Por ejemplo, la vida media de una nueva variedad de trigo del noroeste de Norteamérica es de unos cinco años, pero la roya (un hongo) se adapta a la variedad, y es necesario crear otra que sea resistente.[26] La creación se lleva a cabo mediante selección artificial en la que se combina cuidadosamente la planta reproductora con los tipos genéticos que parecen presentar la resistencia requerida.

El mecanismo de la agricultura de alto rendimiento, de la que depende por entero el futuro de la civilización, radica en tener suficiente provisión de tipos genéticos para emplearlos en la selección natural. Pero, por desgracia, esta provisión disminuye a gran velocidad ya que existe un declive continuo de la variabilidad genética de los cultivos. Éste es quizás el problema puntual más importante de medio ambiente con que ha de enfrentarse el *Homo sapiens;* desde luego, es el peor comprendido, y está ligado muy estrechamente al problema de la extinción.

El mismo éxito de la agricultura de alto rendimiento es uno de los factores que subyace a la pérdida de la variabilidad genética. El agricultor, como es natural, procura plantar las variedades que le proporcionan altos rendimientos con resultados que, por ejemplo, en Estados Unidos, son de alrededor de un 70 % de tierras dedicadas a cultivos importantes.[27]

A veces es necesario pagar un precio muy elevado por este tipo de «monocultivo» extensivo que está formado por parcelas de plantas casi iguales genéticamente. Por ejemplo, en 1970, una variante genética de la roya desbordó las defensas de la mayoría de los cultivos de maíz de Estados Unidos. Ese año, cerca del 80 % del maíz norteamericano produjo una variedad especialmente sensible a la enfermedad, incrementado, además, por un clima que fue más húmedo de lo normal, lo cual favorecía al desarrollo del hongo. De

este modo, quedó destruida casi el 50 % de la cosecha nacional y, en algunas zonas, se perdió la práctica totalidad del maíz a causa de la roya. Afortunadamente, aún se disponía de recursos genéticos para crear una nueva variedad más resistente; pero, si no se toman ciertas precauciones, puede que la humanidad no tenga tanta suerte la próxima vez que un hongo ataque la resistencia de un cultivo.

Una razón de la disminución de la variabilidad genética es la Revolución Verde. En pocas palabras, esta revolución trata de modernizar la agricultura de los países pobres para que su producción de alimentos corra pareja con su creciente población. El elemento clave de la misma consiste en la distribución de las llamadas variedades milagrosas de arroz y trigo, es decir, mutantes que (correctamente tratados con los oportunos aportes de agua, fertilizantes y pesticidas) permiten rendimientos muy superiores (más alimento por acre) a los de las variedades tradicionales.

Por supuesto, los agricultores de los países pobres, así como los de los países ricos, están encantados con el aumento de producción de sus cosechas.[28] Resultado de lo cual es que unas pocas variedades milagrosas reemplazan a las tradicionales, más numerosas, con lo que la uniformidad genética sustituye la diversidad y las poblaciones raras se extinguen. El genetista Reuben Olembo, del United Nations' Environmental Program, expresaba el problema de un modo muy gráfico: «Cuando los agricultores limpian un campo de variedades primitivas, se deshacen de la clave de nuestro futuro.»[29]

Una segunda fuente potencial de variabilidad genética para los cultivos es la serie de variedades silvestres y especies muy estrechamente emparentadas con las domesticadas. Los parientes silvestres de las gramíneas cultivadas —ciertas hierbas nada habituales, como las observadas en Israel— ya han sido empleadas para introducir caracteres nuevos y deseables en los cultivos domesticados. Una variedad turca de trigo silvestre, cruzada con la norteamericana, confirió a ésta resistencia frente a toda una serie de enfermedades conocidas como «añublos». Esta sencilla mejora genética ha rendido unos beneficios a la agricultura norteamericana valorados en 50 millones de dólares.

Recientemente se ha descubierto en México un pariente silvestre del maíz que es perenne, es decir, vive como planta año tras año, en vez de sobrevivir entre estaciones en forma de semillas. Si se pudiera transmitir este carácter mediante hibridación a los cultivos, los agricultores no tendrían que arar cada año los maizales y sembrar de nuevo. De este modo se ahorraría mucho dinero y se reduciría enormemente la erosión del suelo.[30]

Por desgracia, la presión demográfica, la ampliación de los cultivos, la urbanización irregular y la destrucción del hábitat están exterminando de manera creciente las poblaciones de los antepasados silvestres y semisilvestres de las variedades agrícolas. En las últimas décadas, las hambrunas de Nigeria, Etiopía y el Sahel han supuesto la pérdida de una gran diversidad vegetal entre las poblaciones naturales de plantas comestibles, ya que tanto animales como personas se comieron prácticamente todo lo que crecía. Tras la construcción de la presa de Asuán, la formación del lago Nasser anegó variedades de gramíneas empleadas en la alimentación de animales domésticos, que es imposible reemplazar.

Muchas especies silvestres de las que derivaron importantes cultivos, son «malas hierbas», es decir, normalmente crecen en hábitats alterados, como zonas de desprendimiento de tierras o terraplenes. Antes de que se desarrollara la agricultura, estas plantas eran habituales en los lugares de acampada y asentamientos primitivos. Las más interesantes llamaron la atención del ser humano, fueron cultivadas y, poco a poco, durante siglos, fueron mejoradas mediante reproducción selectiva. Al progresar la civilización, algunos de sus antepasados y parientes sólo persistieron en zonas protegidas debido a su interés histórico intrínseco. No obstante, la limpieza de antiguas ruinas en las zonas turísticas del Mediterráneo y en otros muchos lugares ha causado pérdidas importantes de plasma germinal vegetal.

Fuentes de alimento: animales

El ser humano ha domesticado muchas menos especies animales que vegetales, apenas un par de docenas. Prácticamente el 100 por cien de las proteínas de origen animal que se consumen, provienen de sólo nueve especies animales domesticadas, la vaca, el cerdo, el carnero, la cabra, el carabao, el pollo, el pato, la oca y el pavo. Las aves de corral, la vaca y el cerdo, suman un 90 % de la producción de carne en cantidades más o menos similares. Algunos animales más, como el conejo y la paloma, contribuyen en cantidades estadísticamente insignificantes a la producción alimenticia. La vaca proporciona un 90 % de la leche y productos lácteos

consumidos por el ser humano; el resto provienen del carabao, la oveja, la cabra y, ocasionalmente del reno.

Las especies animales salvajes, a diferencia de las plantas silvestres, contribuyen de manera muy significativa a la nutrición humana, pero la contribución más importante es, sin duda alguna, la de los peces marinos. Desde 1971, las capturas de las pesquerías de todo el mundo han fluctuado entre 70 y 75 millones de toneladas. No obstante, el hecho de que la población humana mundial esté creciendo aceleradamente, provoca que la captura per cápita disminuya a ritmo creciente. Sin embargo, las especies piscícolas del océano proporcionan, de modo directo, casi un 14 % de la proteína animal de la dieta del *Homo sapiens,* si se considera un promedio mundial, además de contribuir indirectamente en los piensos para animales. En algunos países estas especies son la fuente principal de proteína animal. Además, en estas estadísticas mundiales, no se incluyen las capturas de los millones de pescadores de caña que pescan para consumo propio y el de sus familias.

La ballena también constituye un buen alimento, sobre todo en algunos países como Japón; sin embargo, este animal se caza principalmente con otros propósitos. Asimismo, los cangrejos, bogavantes, ostras, camarones, almejas, mejillones, etc., representan una aportación muy importante desde el punto de vista económico, si bien su contribución nutritiva total es despreciable en comparación con las necesidades habituales, y constituyen principalmente alimentos de lujo, que adornan las mesas de los que ya están bien alimentados.

Los mamíferos, aves y, a veces, los reptiles salvajes son también una fuente de alimento que se obtiene mediante la caza. La caza es una afición muy popular en Norteamérica, Europa occidental, Nueva Zelanda y Australia. En los años setenta, se expendieron en Estados Unidos más de 25 millones de licencias de caza al año.[31] Aún así, la contribución del animal de caza a la dieta es muy pequeña en esos países. Aunque en los países en desarrollo, la situación no es necesariamente la misma. Es muy probable que los animales de caza, sobre todo en las zonas donde aún se conservan los bosques, participen de modo significativo, aunque desconocido, en la dieta de los más desfavorecidos.

No obstante, la caza es un arma de doble filo ya que la obtención de beneficios siempre lleva consigo el peligro de provocar la extinción de especies y poblaciones. La caza, como se verá más adelante, ha sido el principal factor causal de las extinciones históricas, y hoy día sigue constituyendo una amenaza para muchas especies y poblaciones. Es necesario resaltar que en este campo, como en otros muchos, el precio de obtener beneficios directos de otras especies suele acarrear el coste de tener que economizarlos.

Como ocurre en el caso de las plantas, apenas se conocen todas las posibilidades que puede ofrecer la domesticación de animales. Por ejemplo, la acuicultura —el cultivo de peces marinos y de agua dulce— tiene, en teoría, un enorme potencial. Parte de ese potencial ya ha sido puesto en práctica, y gracias al mismo, se obtuvieron en 1975 más de seis millones de toneladas de marisco y pescado. La producción acuícola se duplicó entre 1970 y 1975, y continúa creciendo a ritmo acelerado. Israel obtiene hoy día la mitad de su pescado mediante acuicultura, y se estima que ese es el origen del 40 % de la producción de pescado y marisco de China. En Indonesia, la acuicultura proporciona el 20 % del pescado, mientras que en Japón se obtiene el 6 %.[32]

Tradicionalmente, las naciones del Lejano Oriente han practicado el cultivo de peces en sus anegados campos de arroz. Los pececillos devoran las larvas de mosquito y otras plagas insectícolas, los excrementos de los peces fertilizan el arroz, y su carne le sirve al agricultor para obtener un suplemento proteínico en su dieta. Entre los peces que mejores rendimientos han proporcionado en viveros, se encuentra el género *Tilapia,* de origen africano. Son peces de la familia de los cíclidos, emparentados con el angelote de agua dulce muy conocido por todos los aficionados a los peces tropicales.

En algunas regiones de África se han obtenido producciones de *Tilapia* de casi quinientos kilos por acre al año, pero el potencial de la mayoría de los cíclidos como cultivo todavía no se conoce en profundidad. Los «enjambres» de especies de cíclidos son propios de los grandes lagos africanos. El lago Tanganica cuenta él solo con ciento veintiséis especies, mientras que el lago Victoria alberga en su seno más de ciento setenta especies de cíclidos, seis de los cuales no existen en ningún otro lugar. En el lago Malawi habitan más de doscientas especies, y todas ellas excepto cuatro sólo se encuentran en este lago. Las diversas especies de cada enjambre se diferencian entre sí por la dieta y el comportamiento reproductor.[33]

Considerando la diversidad de sus hábitos reproductores, cabe pensar que podría diseñarse un sistema acuícola basado en la combinación de cíclidos lacustres, sistema cuya producción de proteínas por acre sería más alta que la de un monocultivo de cíclidos. Las distintas especies podrían repartirse los recursos alimenticios del vi-

vero tal como ahora se reparten los del lago, utilizando de forma activa muchos productos que no aprovecharía una sola especie. No obstante, el requerimiento básico para poder encontrar, reunir, probar y domesticar esas combinaciones es, sin lugar a duda, la preservación de las especies de cíclidos en la naturaleza. De igual manera, el prerrequisito para llegar a domesticar otros muchos seres vivos de agua salada o dulce, con miras a su cultivo en viveros, es la conservación de las especies.

La posibilidad de domesticar nuevas especies animales salvajes no se limita a los hábitats acuáticos. Son muchos los que piensan que la domesticación o semidomesticación de animales ramoneadores africanos permitiría una mayor producción de carne con menos problemas ambientales que los que ahora causa la cría de ganado vacuno, pues éste no se adapta bien a la mayoría de los ambientes africanos. Se ha sugerido que el alce africano (domesticado ya con éxito, y cuya leche es altamente nutritiva), el ñu y los antílopes menores como la gacela de Thomson y el cobo de Uganda, podrían constituir rebaños domésticos allí donde el vacuno no da buenos resultados.[34] David Hopcraft ha instalado una granja en Kenia, donde intenta demostrar que se puede obtener una producción más elevada de alimentos a base de animales nativos, ya que éstos están adaptados fisiológicamente a la semiaridez de la sabana. En su granja viven catorce especies de gacela, que demostrarán si se han resuelto con éxito los problemas biológicos, económicos y políticos que el proyecto plantea.[35]

Más complejo, y quizás ecológicamente más satisfactorio, sería la formación de rebaños mixtos, ya que se podría aprovechar un espectro más amplio de vegetación, diseñando para cada área una combinación óptima del rebaño. Por ejemplo, en las tierras semiáridas del Este de África, muchas de las cuales no sirven como tierras de labor, podrían convivir la jirafa, el alce africano y el caama, ya que ramonean en el estrato alto, medio y bajo, respectivamente, de árboles y arbustos. Estos animales podrían ser combinados, además, con el orix, que pace en los prados abiertos, y el cudú, que habita en los bosques densos, y así sucesivamente. En las zonas próximas a los ríos o con alta pluviometría, sería conveniente mezclar animales diferentes, como, por ejemplo, el elefante, el rinoceronte blanco, el hipopótamo, el búfalo, el jabalí verrugoso y dos especies de antílope.[36] De este modo, podría sacarse provecho de la rica productividad de las áreas húmedas del África tropical. Los antílopes, el búfalo y el jabalí verrugoso producirían una gran fuente de alimento, mientras que las otras especies reportarían beneficios económicos como atracción turística en parques, y en caso de necesidad podrían ser sacrificados para consumo. Ahora bien, para poder servirse de estas especies, la humanidad ha de asegurar en primer lugar su supervivencia.

LAS OTRAS ESPECIES Y EL CONTROL BIOLÓGICO

La introducción de cambios en animales y plantas pueden ser muy provechosos (como en el caso del trigo y la *Tilapia*), pero también pueden producir grandes males, ya que, para ello, es necesario un gran conocimiento biológico. De no ser así, pueden producirse explosiones de población nada deseables cuando una especie se ve privada de sus enemigos naturales. Por ejemplo, el cactus *Opuntia* (chumbera) fue introducido en Australia, en el siglo XIX por los primeros colonos procedentes de América, que quizá pensaron que serviría para cercar el ganado. Este cactus se extendió por todo Queensland, y cubrió doscientos cincuenta mil kilómetros cuadrados que podrían haber servido para pastos.[37]

Los entomólogos buscaron en Sudamérica un posible enemigo natural de los cactus y encontraron una pequeña polilla de los cactus, que trasladaron a Australia. A la vista de tan abundante comida, la polilla se multiplicó muy deprisa y devoró las *Opuntia*, dejando al poco tiempo pequeños rodales esparcidos. El cactus ya no constituye una plaga, puesto que las polillas mantienen guardia perpetua sin que resulten costosas para los consumidores de carne y de lana.

Los anales del control biológico de las plagas recogen muchas historias parecidas a ésta. Otro de los beneficios que la humanidad ha obtenido, en reiteradas ocasiones, de las especies silvestres, es su colaboración en la lucha contra organismos que producen daños económicos. Un insecto australiano, la iceria de los agrios, que llegó a California y empezó a destruir las plantaciones de cítricos, fue controlado mediante la importación de Australia de dos de sus enemigos naturales, una abeja y una mosca. La introducción de insectos parásitos ha producido excelentes resultados contra diversas plagas, como la del escarabajo de julio y del gorgojo de la caña de azúcar en Hawai, las de las mariposas yesosa y coliparda, y del gorgojo de la alfalfa en Estados Unidos, y un escarabajo rinoceronte en Mauricio.[38] La mixomatosis —enfermedad vírica endémica que

sufren los conejos sudafricanos— se ha empleado con gran éxito en el control de las plagas de conejos en Australia y Europa.

Una de las plagas más molestas del continente australiano es la mosca de los matorrales. Estas moscas se crían en los estercoleros y en teoría, rondan entre los animales (ser humano incluido) porque son fuente de estiércol.

En Australia existen unos 20 millones de reses que provee gran abundancia de estiércol y un paraíso para la mosca de los matorrales. Por ello, se ha emprendido un nuevo programa de control biológico. En los años setenta, Australia importó, y dejó en libertad, unas 55 especies de escarabajos estercoleros especializados en el tipo de excremento húmedo que produce el ganado vacuno. Los escarabajos originarios de Australia estaban adaptados al estiércol seco del canguro y el vombat, y no podían dar cuenta de los excrementos de las vacas antes de que las moscas de los matorrales se reprodujeran en las mismas. Mediante la introducción de los escarabajos se espera que se entierre el estiércol antes de que las moscas lleguen a madurar, y así pueda suprimirse la plaga. Los primeros resultados parecen prometedores.

Las posibilidades de emplear otras especies como colaboradores en el control de las plagas son casi infinitas. Por ejemplo, uno de los más variados y menos conocidos grupos de insectos son las diversas familias de minúsculas avispas parásitas que atacan a otros insectos. En este caso, el valor potencial es evidente, pero la acción llevada a cabo por los escarabajos estercoleros logra que no se emitan juicios demasiado rápidos sobre el posible valor de *cualquier* otra especie, por extraña y oscura que resulte a simple vista.

PRODUCTOS ADICIONALES DE OTRAS ESPECIES

Por último, puede resultar útil examinar brevemente de qué múltiples maneras otros seres vivos fabrican, o ayudan a fabricar, elementos valiosos para el ser humano. El primero que acude a la mente es la madera, producto de una gran cantidad de plantas superiores. Todos los árboles producen madera, pero todos poseen características propias y particulares si proceden de diferentes especies.

La madera constituyó en otro tiempo el principal combustible de la humanidad, y en la mayoría de las naciones pobres continúa siendo una fuente esencial de energía. Un 90 % de la madera utilizada como combustible se consume en países poco desarrollados, mientras que el 80 % de la madera empleada en esas regiones se quema como carburante. La recogida de leña constituye, por tanto, uno de los principales motivos de destrucción de los bosques tropicales.[39]

Por supuesto, se lleva a cabo la explotación forestal maderera tanto en los trópicos como en las zonas templadas. Por falta de una gestión adecuada, algunas especies de árboles de madera muy codiciada se han visto reducidas o exterminadas en amplias extensiones. Por ejemplo, en el Oeste de Estados Unidos, los bosques de seconoyas han mermado sensiblemente, mientras que la caoba está extinguida en Honduras y en muchas de las tierras bajas de Panamá.[40] Por otro lado, la teca desaparece rápidamente del sudeste asiático.

La preservación más amplia posible de las especies y poblaciones de árboles como reserva de madera es esencial por dos factores fundamentales. Un motivo lo constituyen las diferencias en las características de crecimiento y la calidad de la madera entre una población y otra de una misma especie de árbol. Por supuesto, existen infinidad de árboles, sobre todo en los trópicos, que nadie ha investigado como fuentes de madera, ni siquiera a escala de especie. En consecuencia, aún quedan por descubrir muchas especies de árboles tropicales cuya madera posee propiedades muy interesantes.

El otro factor es la evolución continua de las ideas acerca de qué clase de madera es la más adecuada. Hace varios siglos, los inspectores de la marina británica apreciaban los robles de copa baja y muy abierta de los que se podían obtener piezas con la forma adecuada para las partes vitales de los barcos de madera. Los árboles con este aspecto son justamente los que peor se prestan al uso actual del roble. Las industrias de la pulpa y del papel han cambiado de opinión respecto de cuáles son las mejores clases de madera a emplear, y en las últimas décadas se han adoptado toda una lista de nuevas especies para pulpa. Es muy probable que en un futuro próximo se produzcan cambios aún más drásticos en el empleo de los árboles. Por ejemplo, una importante fuente futura de energía puede ser la biomasa, plantas cultivadas para ser quemadas en centrales de energía o convertidas en otro tipo de combustible. Muchas de las especies que servirían como recurso de biomasa, no tienen actualmente ningún valor comercial.

Los árboles y otras plantas son hoy fuente de una enorme variedad de productos no comestibles, además de la madera. Un ejem-

plo notable es el caucho, cuya forma natural se extrae de la savia de un árbol tropical *(Hevea)* de la familia de la lechetrezna. Otros productos empleados por el ser humano son los agentes curtientes, una gran variedad de tintes, fibras como el algodón, el lino y el cáñamo, insecticidas como el pelitre y la rotenona, perfumes, lociones (por ejemplo, el aloe y el olmo escocés), ceras, pegamentos, cosméticos, miraguano, ablandadores de carne, conservantes, gutapercha (empleada para aislar e impermeabilizar), trementina, grasa para candelas, sustitutos del jabón, resinas aromáticas para fabricar incienso, abonos, fertilizantes, materiales de embalaje, escobas, cestos, bardas, esteras y muebles de mimbre, entre otras muchas cosas.

Muchas plantas producen aceites valiosos. Algunos, como los de alazor, soja, cacahuete y oliva, se emplean para cocinar, mientras que para pinturas y barnices se emplean los de linaza, soja, lino y aleurites. El aceite de ricino que, además de su conocida función laxante, funciona también un buen lubricante se extrae de las semillas tóxicas de la planta de igual nombre. Este aceite se utilizó en los motores de los aviones de combate durante la primera Guerra Mundial, creando incómodos problemas a los pilotos, que, al viajar en cabinas abiertas, recibían, de vez en cuando, buena parte del aceite que la máquina expulsaba. Existen otras muchas sustancias vegetales que se emplean también como ingredientes en la manufactura de productos industriales; por ejemplo, el alcanfor, que se usa en la fabricación de plásticos, películas, lacas y explosivos.

Las plantas son el origen de todas las especias, hierbas y la mayoría de los restantes condimentos. Cuesta recordar, al disfrutar de un menú francés o mexicano, que muchos de los aromas degustados provienen de las sustancias químicas que las plantas han sintetizado para repeler o eliminar a sus enemigos. Las plantas proporcionan asimismo bebidas estimulantes como el café o el té, además de ser la base de la fermentación y destilación de los licores. Tanto las plantas (flores y hojas) como los animales (almizcle) se han utilizado en la fabricación de perfumes y esencias de un gran número de productos, como detergentes, jabones, champúes y desodorantes.

Es necesario insistir en la posibilidad de obtención de estos productos a partir de plantas que apenas han sido aprovechadas. No obstante, dicha posibilidad menguará si se provoca la extinción de las plantas, lo cual se pone de manifiesto en las recientes investigaciones sobre el potencial de tres plantas antes ignoradas, el guayule, la jojoba y *Leucaena*.

El guayule es un arbusto que, a principios del siglo XX, se cultivó en gran medida en el Norte de México y Texas ya que constituía la fuente de la que se extraía caucho. Su látex es idéntico al obtenido de *Hevea*, y en 1910 satisfizo el 10 % de la demanda mundial y la mitad de la de Estados Unidos. La enorme convulsión de la Revolución Mexicana, la sobreexplotación de los cultivos y la gran depresión de los años treinta, acabó por arruinar la industria, si bien el cultivo se recuperó transitoriamente en California durante la segunda Guerra Mundial, cuando quedaron cortadas las importaciones de caucho de *Hevea* procedentes del sudeste asiático.

El guayule posee muchas cualidades atractivas ya que se presta muy bien a la mejora genética y crece satisfactoriamente en los suelos pobres de las regiones áridas; por lo tanto, podría constituir un importante cultivo para los nativos del sudoeste de Estados Unidos y del noroeste de México. Esta planta tiene una vida media de más de cincuenta años, de modo que las plantaciones establecidas vienen a ser una especie de reserva de caucho para toda la vida. Existen algunos problemas en la actualidad acerca de la extracción del caucho del guayule que, con una pureza adecuada permita ser vendido a un precio razonable. No obstante, las experiencias piloto llevadas a cabo en México han sido muy alentadoras, y la creciente demanda (y el precio) estimulará probablemente la búsqueda de soluciones al problema.[41]

Probablemente, la demanda de guayule aumentará ya que el caucho natural es superior al sintético en muchas aplicaciones, por ejemplo es más elástico y resistente al calor.

Quizá lo más importante es que el caucho sintético se obtiene a partir del petróleo, un recurso cada vez más escaso y costoso. Ya que los árboles de *Hevea* parecen haber llegado al límite de la mejora genética, y están amenazados por una enfermedad que acabó con la producción de caucho en Sudamérica, urge buscar otras especies vegetales que proporcionen caucho natural.

La jojoba —pariente del boj, arbusto muy utilizado como seto— produce semillas que contienen más de un 60 % de una cera líquida idéntica al aceite del esperma de ballena, que posee una capacidad especial para «humedecer» metales, es decir, para adherirse a ellos y proporcionar así una lubricación continua. Esta propiedad hace que sea un ingrediente muy valorado en la fabricación de aceites lubrificantes, aunque tiene también otras muchas aplicaciones.

En Estados Unidos ya no es posible importar aceite de esperma

porque los cachalotes están amenazados. Sin embargo, puede adquirirse en el mercado negro a más del doble del precio que tiene en el mercado mundial, precio que necesariamente subirá en cuanto las ballenas sean protegidas o, desgraciadamente, exterminadas. Por fortuna, el aceite de jojoba es un excelente sustituto del aceite de esperma en la práctica totalidad de las aplicaciones importantes que llevaba a cabo. El aceite de jojoba puede ser procesado para obtener una cera superior a la mejor que exista actualmente. Además, una vez extraído el aceite, el residuo de las semillas posee un alto contenido proteínico que puede ser convertido en alimento animal.[41] Al igual que el guayule, la jojoba crece en tierras áridas marginales, por lo que su cultivo no entraría en seria competencia con ningún otro producto agrícola.

Leucaena constituye un grupo de especies de árboles y arbustos emparentados con la familia del guisante, que son originarios de América Central. Un estudio de la Academia Nacional de Ciencias norteamericana señalaba:

> De todas las legumbres tropicales, *Leucaena* es la que ofrece un abanico más amplio de aplicaciones. Gracias a sus muchas variedades, *Leucaena* puede producir forraje, leña, madera y un fertilizante orgánico muy rico. Entre sus diversos usos figura la reforestación de laderas tropicales, la provisión de sombra, así como de cortamientos, corta fuegos y ornamentación. A pesar de que árboles individuales de *Leucaena* han producido cantidades extraordinarias de madera —de hecho, los totales anuales más altos que se recuerdan—, y aunque la planta da cuenta de algunas de las ganancias de peso más altas que se han obtenido en ganado vacuno alimentado con forraje, su cultivo resta ignorado y no se ha explotado suficientemente su elevado potencial.[43]

Algunas variedades de *Leucaena* poseen maderas densas que crecen muy rápidamente (se pueden talar al cabo de un período de entre tres a diez años), por lo que resultan ideales para cultivo en plantaciones de biomasa. Las plantaciones de *Leucaena* se podrían emplear en combinación con los molinos de viento para satisfacer buena parte de las necesidades energéticas de Hawai. Al igual que el guayule y la jojoba, *Leucaena* no requiere terrenos de gran calidad para su cultivo y tolera una extraordinaria gama de ambientes tropicales y subtropicales.

La biomasa no es el único sistema que poseen las plantas de ayudar a la humanidad en el campo de la energía. Ciertas plantas tropicales de la familia de la lechetrezna sistetizan un hidrocarburo

que puede resultar prometedor como fuente renovable de petróleo con baja concentración de azufre. Tras una mejora genética adecuada, probablemente las «granjas de gasolina» sustituirán una buena parte de los combustibles portátiles del mundo.[44] Esto puede parecer extraño a primera vista; sin embargo, debería tenerse presente que *todos* los combustibles fósiles fueron originariamente hidrocarburos vegetales que fueron «procesados» por los procesos geológicos durante millones de años hasta convertirlos en carbón, petróleo y gas natural. No existe razón teórica para que el *Homo sapiens* no pueda saltarse la secuencia plantas-gasolina, partiendo de plantas especialmente ricas en hidrocarburos, excepto, la posibilidad de que las mejores fuentes vegetales puedan ser especies y poblaciones desconocidas que en este preciso instante estén siendo extinguidas.

Los animales también proporcionan una amplia gama de materiales de utilidad comercial, como, por ejemplo, la laca de la cochinilla de la laca, el almizcle del venado, la lana de la oveja y la cola de la gelatina de caballo. La lana de oveja y otros vellos animales (como, por ejemplo, el pelo de camello, la lana de cachemira, de llama, de vicuña) poseen cualidades muy difíciles, por no decir imposibles, de reproducir en los tejidos sintéticos. Lo mismo ocurre con la seda y el cuero. Los plásticos producen resultados aceptables en bolsos y maletas, pero los intentos de emplearlos en zapatería han sido bastante desastrosos.[75] El plumón, es decir, las delicadas plumas que subyacen al plumaje principal de las ocas y otras aves, es quizás el aislante mejor y más ligero que se conoce (prueba de ello es la gran demanda de chaquetones, chalecos y sacos de dormir de plumas).

Algunos de estos productos, desde luego no todos, se obtienen de animales domesticados, muchos de los cuales se crían también con fines alimenticios. Por supuesto, estos animales no corren peligro de extinción, y existe un control sobre su explotación. No obstante, el mercado de los productos que ofrecen determinados animales se convierte en la principal causa de extinción, por ejemplo, el cachalote por su esperma, el rinoceronte por su cuerno, el elefante por el marfil y el venado por el almizcle.

Aunque la búsqueda de nuevas especies para su explotación en procesos industriales puede ser importante, es dudoso que éste sea un argumento contundente para la preservación de la diversidad animal en términos generales. (Un motivo distinto es apoyarse en el valor económico de un producto para preservar una especie con-

creta, como, por ejemplo, la amenazada vicuña.) La principal pérdida para la industria como resultado de la reducción del número de especies vivas, provendrá del agotamiento de las increíbles existencias de productos químicos orgánicos que existen en las plantas.

LOS COSTES DE OPORTUNIDAD DE LA EXTINCIÓN

La humanidad obtiene beneficios directos de muchas especies hasta un punto que la inmensa mayoría de los seres humanos ignora por completo, además, las posibilidades de un empleo más amplio, también ignoradas, son sin duda enormes. Los costes directos más importantes de la tendencia actual a la extinción de un número siempre creciente de especies son lo que los economistas denominan costes de oportunidad y que constituyen la diferencia entre las ganancias obtenidas durante el proceso de exterminio y el valor de la especie o la población, explotados de manera óptima, si se hubieran preservado.

El coste de oportunidad de aniquilar las ballenas sería su valor como fuentes de interés y disfrute para las futuras generaciones. Para otras personas podría ser su valor como provisión eterna de comida para perros y otros productos, si se pudieran obtener sobre la base de una producción aceptable.

Es de suponer que la decisión de eliminar o no una especie se tomará «racionalmente» (en términos económicos) una vez el recurso vivo tiene un valor conocido. Pero, por ahora, los costes de oportunidad de aniquilar miles de especies, una de las cuales —que la humanidad no conoce— puede guardar el secreto para curar el cáncer o aliviar el problema del hambre en el mundo, no son fáciles de medir mediante los cálculos económicos usuales.

El ser humano siempre ha dependido de otros organismos para abastecerse de toda suerte de productos, desde los zapatos hasta las armas y herramientas e incluso para necesidades tan elementales como el alimento, la ropa, el combustible y los materiales de construcción de viviendas. Aún ahora sigue dependiendo de otros seres vivos para la mayoría de tales necesidades, a pesar de haber «domesticado», es decir, subyugado y adaptado en beneficio propio, muchas especies con el fin de controlar su producción. No obstante, las especies domesticadas continúan sujetas a las leyes de la naturaleza, tal como ocurre con el propio ser humano. Y la humanidad, junto con sus sistemas biológicos artificiales (agricultura y silvicultura), también se apoya, de muchas maneras indirectas, en un sistema más amplio que se denomina *biosfera* o naturaleza, si se prefiere. La mayoría de las personas no son conscientes de los aspectos tan sutiles que conlleva la dependencia de los ecosistemas naturales, pero no por ser comparativamente poco notorios son menos vitales.

5. BENEFICIOS INDIRECTOS: SISTEMAS SUSTENTADORES DE VIDA

El ser humano depende de la naturaleza para sobrevivir, y la naturaleza por su parte depende también del ser humano. Uno y otra han de encontrar la manera de convivir en el planeta Tierra, o la vida desaparecerá de él.

RAYMOND R. DASMANN
«Wildlife and Ecosystems».
En *Wildlife and America*

Volviendo a la analogía de la cosmonave con que se iniciaba este libro, arrancar remaches, es decir, provocar la extinción de otras especies, le cuesta muy caro a la humanidad debido al valor potencial de cada remache. Sin embargo, la preocupación más importante en torno a la extinción de especies y poblaciones debe concentrarse en el peligro de debilitar la estructura de la cosmonave Tierra.

Los sistemas biológicos naturales (ecosistemas) son el resultado de miles de millones de años de evolución. También el ser humano es un producto de este proceso en curso, y, como todos los demás organismos, depende de esos sistemas para su supervivencia. La mayoría de las personas parecen creerse independientes de la naturaleza, pero eso no es cierto. Los cultivos vegetales y los animales domesticados son asimismo productos evolutivos, si bien la humanidad ha actuado de agente selectivo dominante durante su evolución más reciente. La capacidad del ser humano para obtener materias primas, administrar recursos naturales y controlar diversos aspectos de su medio ambiente, por más impresionante que pueda ser, en modo alguno le libra de depender de la biosfera.

Los ecosistemas naturales sustentan la vida humana a través de

una serie de servicios públicos absolutamente esenciales y gratuitos. Una vez observados detalladamente, la naturaleza de esos servicios y los sistemas que los proporcionan, así como el papel que desempeña cada especie y población individual en el ecosistema, debería ser evidente ya qué cualquier enemigo del pez babosa es también un enemigo del ser humano.

ESTRUCTURA DEL ECOSISTEMA

Técnicamente, un ecosistema es el conjunto de *todos* los seres vivos —plantas, animales y microbios— que viven en un área, unidos al medio ambiente físico. Por supuesto, todas las formas de vida están modificadas y constreñidas por su medio ambiente físico. Existen modificaciones que actúan sólo sobre una generación, es decir, el medio ambiente físico afecta al *desarrollo* de un organismo individual, por ejemplo, un árbol se atrofiará si se le planta en un suelo relativamente estéril.

Los organismos también pueden resultar afectados al cabo de muchas generaciones si sus caracteres hereditarios cambian por selección natural, es decir, por el proceso de la *evolución*. Por ejemplo, si se enfría el clima de una región, aquellos individuos de cada especie que resistan mejor el frío, tenderán a tener más hijos que los menos resistentes y quizá puedan merodear más en busca de alimento, pareja o refugio. Si la variabilidad individual de la resistencia al frío se debe primariamente a diferencias genéticas, toda la población se volverá, poco a poco, resistente al frío. La capacidad del individuo para desarrollarse de manera diferente en distintos ambientes, y la de la población para evolucionar en respuesta a los cambios ambientales, son sin duda esenciales para la supervivencia de los seres vivos en este planeta.

El medio ambiente físico afecta a los organismos que viven en él, y, como es lógico, lo contrario también es cierto. Los líquenes ayudan a descomponer las rocas para formar suelos; las raíces de los árboles y hierbas protegen el suelo de la erosión; los bosques regulan su propio clima; la lombriz de tierra remueve el suelo y lo fertiliza. Los seres vivos de un ecosistema y los componentes físicos del sistema están ligados por un laberinto de interacciones. El laberinto es tan intrincado que no es del todo absurdo afirmar simplemente que *cualquier criatura viva afecta potencialmente a cualquier otra criatura viva y al medio ambiente físico del planeta*.

Muchas de las vías de influencia son en extremo indirectas.[1] Por ejemplo, las principales influencias de los animales sobre los factores físicos del medio ambiente se deben probablemente a su impacto sobre la flora. Herbívoros (animales consumidores de plantas) como el ratón pueden arrasar la vegetación de una zona y causar una erosión importante, a menos que su población esté sometida al control de un depredador como el ratonero, por ejemplo. De éste modo, el ratonero puede influir en el medio ambiente físico a través de una cadena que incluye el ratón y las plantas. Si un piojo ayudase a propagar cierta enfermedad de un ratonero a otro, también este podría influir en la erosión de una ladera.

Existe un incidente famoso a propósito de las intrincadas relaciones en el seno de un ecosistema. Hace unos años, la Organización Mundial de la Salud utilizó grandes cantidades de DDT en un programa para el control de los mosquitos en Borneo. Acto seguido, la población local, libre de mosquitos, empezó a sufrir el azote de una plaga de orugas que devoraban las techumbres de las casas hasta demoronarlas. Los hábitos de las orugas limitaban su exposición al DDT, pero las avispas depredadoras que hasta entonces habían controlado a las orugas habían desaparecido.

También se fumigaron los interiores de las viviendas para eliminar las moscas domésticas. Los gecos que hasta entonces habían controlado la población de moscas, engulleron los cadáveres, ahora impregnados de DDT. De resultas, los gecos acabaron envenenados y de sus cuerpos dieron cuenta los gatos domésticos. Los gatos recibieron dosis masivas de DDT —que se había concentrado a medida que pasaba de las moscas a los gecos y de éstos a los gatos— y perecieron. Llegados a este punto, se desata otra nueva plaga, las ratas que no sólo devoraban la comida de los ciudadanos, sino que además les amenazaban con la peste bubónica. El gobierno de Borneo se alarmó tanto que decidió lanzar gatos en paracaídas sobre el área afectada, en un desesperado intento de restablecer el equilibrio.[2]

Cadenas y redes alimentarias

A pesar de estas complicadas conexiones, se conoce bastante bien la estructura general y el funcionamiento de los ecosistemas. Generalmente se disponen más o menos en forma de pirámide, con masas de plantas en la base, sustentando toda la estructura

y con un número relativamente pequeño de organismos carnívoros que coronan la cúspide. La distribución está determinada por secuencias de alimentación —por ejemplo, planta a ratón a ratonero a piojo de ratonero— denominadas *cadenas alimentarias*. Si se destruyen las plantas que son el sostén de dichas cadenas, se colapsará toda la secuencia. Si un animal favorece la destrucción de una cadena, pueden producirse explosiones en las poblaciones de los niveles inferiores.

Esta situación es realmente complicada, porque las cadenas se entrelazan entre sí formando *redes alimentarias*, y todos los componentes vivos sufren la influencia del medio ambiente físico. Pero si se tienen en cuenta las características de la secuencia alimentaria básica de los ecosistemas, como se verá más adelante, la complejidad no debería eclipsar las características básicas de los ecosistemas.

Con algunas excepciones poco significativas, toda la energía que fluye por los ecosistemas proviene del Sol. La energía solar es «capturada» por las plantas verdes durante el complejo proceso de la fotosíntesis. De ahí que sean la base sustentadora de la pirámide. En este proceso, la energía del Sol sirve para convertir el dióxido de carbono y el agua en azúcares, liberándose oxígeno como subproducto. Tanto las plantas como los animales emplean luego este oxígeno para «quemar» poco a poco los azúcares, de modo que la energía obtenida les permite accionar sus procesos vitales.

Normalmente, las plantas que pueden llevar a cabo la fotosíntesis son verdes, debido a que contienen un pigmento llamado clorofila, que juega un papel primordial en el proceso fotosintético, ya que es la sustancia química que captura la energía luminosa. La vida y los ecosistemas no existirían sin esta fuente de energía, así que no es sorprendente que las plantas sean el componente fundamental de los sistemas ecológicos. De hecho, toda la carne es hierba, porque todos los animales dependen para su sustento de las plantas que comen, o de otros animales que han comido plantas, o de otros animales que comen animales que comen plantas.

Una manera habitual de aproximarse a la estructura de los ecosistemas consiste en dividir las cadenas alimentarias en niveles *tróficos* (alimentarios). El primer nivel es el de los *productores:* las plantas verdes. En el segundo se hallan los *herbívoros:* los animales que comen plantas. El tercer nivel corresponde a los *carnívoros*: los animales que comen otros animales. Pueden existir varios niveles de carnívoros. Por ejemplo, los piojos que se alimentan del ratonero, serían carnívoros de segundo orden. Como también lo sería el ratonero cuando se alimenta de pequeñas aves insectívoras o de una culebra.

Un nivel trófico muy importante, que conecta con todos los demás, es el de los *descomponedores*. Este nivel engloba infinidad de pequeños insectos, ácaros, gusanos, hongos y bacterias que su única función es destruir los productos de desecho y los cuerpos muertos de los organismos más grandes. Durante el proceso de extraer la energía necesaria, a partir de las moléculas orgánicas que antes pertenecieron a árboles, ratones y ballenas, los descomponedores desempeñan la importantísima función de liberar moléculas de nutrientes esenciales para el crecimiento de plantas y animales devolviéndolas al ecosistema. En los ecosistemas terrestres, la mayoría de los descomponedores viven en el suelo.

Funciones del ecosistema: ciclos de nutrientes

Ni el ser humano, ni ningún otro organismo puede vivir sólo de azúcares. Todos los organismos necesitan acceder a una gama más amplia de elementos; entre los más importantes se encuentran el carbono, el hidrógeno, el oxígeno, el nitrógeno, el fósforo, el potasio, el azufre, el hierro, el calcio, el magnesio, el cobre, el manganeso, el molibdeno, el boro y el cinc. Como en el caso de los azúcares las plantas de la base de la pirámide son la fuente última de los elementos esenciales de todos los animales y descomponedores.

Los nutrientes esenciales tienden a seguir trayectorias cíclicas a través de los ecosistemas. Por poner un ejemplo muy simplificado, el fósforo —un elemento crítico en la capacidad de los organismos de utilizar la energía— es captado por las raíces de las plantas y pasa a los animales que las comen. Los carnívoros, por su parte, obtienen el fósforo de los herbívoros. Los descomponedores del suelo destruyen las moléculas orgánicas que contienen fósforo, y éste queda otra vez disponible para que las raíces de las plantas lo absorban. En líneas generales, cuando no en detalle, el ciclo del fósforo es muy parecido al de los demás nutrientes.

Los caminos seguidos por los nutrientes en el ecosistema pueden ser muy complejos. El más intrincado de todos ellos es el del nitrógeno, que por constituir un componente de las proteínas es esencial para todos los seres vivos. En la atmósfera existe una enorme provisión de nitrógeno, pero los animales superiores no pueden

servirse directamente de ella. Ciertos microbios especializados (principalmente algas azules y unos pocos grupos de bacterias) son capaces de «fijar» el nitrógeno atmosférico, es decir, de convertirlo en formas que los demás seres vivos pueden utilizar. Las bacterias fijadoras de nitrógeno mejor conocidas viven en los nódulos de las raíces de las leguminosas, como, por ejemplo, el guisante, la judía, el cacahuete, el trébol y la alfalfa. En consecuencia, estas valiosas plantas no sólo proporcionan alimento vegetal rico en proteínas para el ser humano, y forraje para los animales, sino que además, gracias a sus compañeros microbianos, abastecen el suelo de nitrógeno vital. La fijación del nitrógeno acontece asimismo en hábitats acuáticos, principalmente gracias a la acción de algas azules. Muchas de ellas son organismos de vida libre, pero existe una, muy importante, que vive en simbiosis con un helecho acuático en los arrozales.

Una vez fijado el nitrógeno en el suelo o en el agua, las plantas lo capturan y lo distribuyen a través de innumerables canales biológicos diferentes. Por último, durante el proceso de descomposición, otro grupo de organismos devuelve parte del nitrógeno al depósito atmosférico.

Energía

Mientras que los nutrientes circulan por el ecosistema según un ciclo concreto, la energía fluye a través del mismo en una sola dirección. Los físicos observaron hace tiempo que la capacidad de la energía para realizar un trabajo sólo se puede usar una vez. Por otro lado, en el mundo real, siempre se pierde parte de esa capacidad teórica. Por ejemplo, es imposible convertir todas las kilocalorías de la energía química de un barril de gasolina en el mismo número de kilocalorías de energía mecánica del eje de transmisión de un automóvil. En realidad, en un motor de coche normal, el 70 % de esas calorías se queman en el tubo de escape, o se convierten en calor que desprende del motor y es inutilizable para el eje de transmisión (es decir, el motor sólo aprovecha un 30 %). Esta tendencia de la energía a la indisponibilidad para realizar un trabajo es uno de los muchos fenómenos que los físicos describen como consecuencia del segundo principio de la termodinámica.[3]

Los organismos vivos emplean el trabajo derivado de la energía que procesan, para capturar más energía —sea del Sol, sea de otros seres vivos—, para fabricar tejidos destinados a crecimiento o reparación, para concebir hijos y para protegerse de los enemigos. En todos estos procesos, los principios de la termodinámica se aplican con la misma rigidez que en un motor del automóvil.

La pérdida de disponibilidad de la energía para realizar un trabajo es la que dicta que ésta fluya en un solo sentido a través de las cadenas alimentarias de los ecosistemas. A diferencia de los átomos de los nutrientes, que pueden usarse una y mil veces, la capacidad de realizar trabajo presente en una cantidad de energía dada sólo puede usarse una vez. En cada nivel trófico del ecosistema, los organismos extraen algún trabajo de la energía recibida originalmente del Sol. Y en cada nivel se pierde una cierta capacidad de la energía para realizar trabajo, porque, como el coche y el ser humano, los demás seres vivos tampoco pueden conseguir una eficacia del 100 por cien en la conversión de la energía. Los animales que comen plantas son incapaces de convertir toda la energía que reside en las plantas en energía para su uso individual. Parte de la energía queda en los productos de desecho que no se llegan a digerir, y parte se pierde durante los procesos de la digestión y la asimilación. Además, durante sus propios procesos vitales, todo animal y planta utiliza energía continuamente para funcionar. Cuando se realiza un trabajo, parte de la energía se convierte en calor y se disipa y, por consiguiente, todo ser vivo está siempre desprendiendo calor. Este efecto es mucho más evidente en los animales llamados de sangre caliente, por ejemplo, un ser humano emite constantemente más calor que el que produce una bombilla de 100 watios.

La consecuencia más importante de todo este proceso es que en cualquier nivel trófico, los seres vivos sólo disponen de un 10 % de la capacidad para realizar trabajo con que cuentan los del nivel trófico inferior. En definitiva, esto significa que si el peso de los herbívoros de un ecosistema fuera de diez toneladas, sólo cabría esperar una tonelada de carnívoros. Además, esto entrañaría un mínimo de cien toneladas de plantas para sostén de los herbívoros.[4] Es decir, como la capacidad de la energía para realizar un trabajo no es reciclable, el peso y el número de organismos en la mayoría de los ecosistemas se ordenan según una *pirámide trófica* en la que están situadas una gran cantidad de plantas sustentando una cantidad mucho menor de herbívoros, que a su vez mantienen una cantidad menor de carnívoros de primer orden, sobre los que apoya una cantidad mucho menor de carnívoros de segundo orden, y así sucesivamente.

Un ejemplo claro, aunque simplificado, sería el sistema bosque montano-pradera, en el que es posible encontrar una gran variedad de plantas sustentadoras de ciervos, alces, insectos herbívoros, conejos, ratones, marmotas, ardillas y aves frugívoras y granívoras, entre otros. Los predadores de los herbívoros incluirían ratoneros, coyotes, osos (que también se alimentan de plantas), insectos carnívoros, culebras e incluso seres humanos. El segundo orden de carnívoros lo constituyen algunos de los anteriores animales así como garrapatas, mosquitos, ácaros y otros pequeños organismos que atacan a los animales más grandes. En cada nivel, las poblaciones tienden a ser más pequeñas y el peso total de los organismos es mucho menor que el del nivel inferior. (La población humana, claro está, no es pequeña, pero sólo una mínima proporción de cazadores utiliza el ecosistema bosque montano-pradera como fuente de alimentos, y aun éstos sólo obtienen una fracción de su alimento mediante este sistema.)

ESTRUCTURA PIRAMIDAL Y PERTURBACIÓN DEL ECOSISTEMA

Es necesario comprender las consecuencias de la estructura piramidal de los ecosistemas si se quiere apreciar cómo esos sistemas responden a los ataques, y por qué las poblaciones y especies de ciertos niveles tróficos son más sensibles a la extinción que otras especies de niveles diferentes.

Dada la estructura piramidal de los ecosistemas, las poblaciones de depredadores casi siempre son menores que las poblaciones de herbívoros, y en igualdad de condiciones, las poblaciones pequeñas son más sensibles a la extinción que las más grandes. Una razón es, sencillamente, el azar. Por ejemplo, si se produce un suceso catastrófico, como una helada demasido fuera de época, éste mataría al 99 % de los seres vivos expuestos. Si la población contaba con mil individuos, habría diez supervivientes, lo cual es suficiente para permitir una eventual recuperación. Sin embargo, una población original formada únicamente por cien individuos se vería reducida a uno. Si éste se reproduce sexualmente, el resultado final es la extinción.

Para los organismos con reproducción sexual (que son la inmensa mayoría) la reducción del tamaño de la población entraña muchos riesgos que no se reflejan en el número absoluto de individuos. Por ejemplo, cuando una población mengua a unos pocos individuos, se pierde la mayor parte de la variabilidad genética. Además, si la población continúa en cantidades mínimas, la variabilidad tenderá a erosionarse todavía más. Esto puede acarrear gravísimas consecuencias, y en la mayoría de los casos, lo más probable es que el fin último sea la extinción. Variabilidad reducida significa que una población es menos capaz de adaptarse a cualquier cambio del medio ambiente, sea un cambio brusco de clima, una reducción en la provisión de alimentos, la presión de un nuevo depredador, o una enfermedad.

Por otra parte, en muchos animales sociales, la reducción del tamaño del grupo puede provocar que los supervivientes sean mucho más vulnerables en otros aspectos. Por ejemplo, es evidente que muchos animales están más a salvo de depredadores y se alimentan más eficientemente si se organizan en grupos de cierto tamaño. Éste es el caso de las manadas de antílopes y ciervos, las bandadas de aves migratorias y los grandes bancos de peces.

Por último, si una población ocupa un área muy extensa, al menguar el tamaño de la población, los individuos tendrán mayores dificultades para encontrar pareja. El oso, que lleva una existencia solitaria la mayor parte del año, y cuyas poblaciones han disminuido drásticamente en todos los continentes, pueden ser una de las primeras especies en extinguirse por esta causa. Algunas especies de rinoceronte, como se recordará, también se han vuelto muy vulnerables por efecto de la reducción del tamaño de la población. Asimismo, las plantas pueden tener problemas de entrecruzamiento si los individuos se hallan lo suficientemente dispersos para que la polinización no sea posible. Esto es mucho más probable que ocurra en las selvas húmedas tropicales, donde los individuos de una población de plantas tienden a dispersarse entre los de otras muchas especies.

Bioconcentración

Una característica importante de los sistemas biológicos es su capacidad de concentrar selectivamente sustancias del medio ambiente, lo cual también crea vulnerabilidad diferencial a la extinción. Es de común aceptación que cualquier sustancia liberada en un ecosistema se dispersará hasta que su distribución en el medio ambiente en que fue liberada sea uniforme. Por ejemplo, en 1971, el premio

Nobel sir Robert Robinson cometió un error al calcular la dilución del plomo como contaminante en los océanos, y anunciar que la concentración sería tan baja que su impacto, desde el punto de vista biológico sería despreciable.[5] Esta conclusión no tenía en cuenta el proceso de *bioconcentración*.

Una de las formas más simples y efectivas de bioconcentración se da en las almejas y las ostras —filtradores— que subsisten a base de tamizar pequeñas cantidades de nutrientes del medio ambiente que, a veces, inadvertidamente, contienen contaminantes asociados. Se ha comprobado que las ostras acumulan hasta 70.000 veces la concentración de insecticidas del tipo DDT, presente en el medio ambiente.

Un mecanismo importante de bioconcentración es la afinidad que poseen ciertas sustancias químicas del medio ambiente con los componentes de los sistemas vivos. Por ejemplo, los hidrocarburos clorados —un grupo de sustancias químicas que incluye el DDT y los PCB (difenil policlorados)— tienen una elevada afinidad con la grasa. Por consiguiente, si se vierte al medio ambiente un hidrocarburo clorado, no se encontrará en el aire ni en el agua, sino en los organismos vivos. El ser humano, por ejemplo, acumulará DDT en su grasa corporal hasta concentraciones muy por encima de las que suelen encontrarse en los alimentos que ingiere; a finales de los años sesenta, la leche humana arrojaba concentraciones mucho mayores de las que se permiten en el comercio interestatal de leche de vaca. (Desde que el uso de DDT se prohibió casi en su totalidad en Estados Unidos en 1972, las concentraciones en la grasa corporal y en la leche de los norteamericanos han disminuido de forma notable.) En igualdad de condiciones, los organismos de vida más larga concentrarán más toxinas por esta vía que las de vida más breve, ya que estarán expuestos durante más tiempo.

La propia estructura alimentaria piramidal del ecosistema proporciona un mecanismo adicional de bioconcentración. Por ejemplo, los herbívoros incorporan a su organismo sólo una pequeña proporción de la energía originalmente presente en las plantas. El resto la excretan, la emplean en impulsar sus actividades, o la disipan como calor. Pero si las plantas han sido tratadas con DDT, buena parte de éste pasará a los herbívoros y se almacenará en su grasa. A la vez, las poblaciones de carnívoros que se alimentan de dichos herbívoros capturarán sólo una pequeña cantidad de la energía presente en ellos, pero se transmitirá de nuevo gran parte del DDT. Así pues, el peso del DDT que circula por la cadena alimentaria desaparecerá muy lentamente, mientras que el peso de los organismos en los sucesivos niveles tróficos disminuye, la mayoría de las veces, de forma brusca. En cada eslabón de la cadena alimentaria se multiplica la cantidad de DDT por kilo de materia viva. En consecuencia, la concentración de DDT en los niveles superiores de la cadena alimentaria será mucho más elevada que en los inferiores, provocando, entre otras cosas, la muerte de los gatos de Borneo.

En un estudio realizado por los ecólogos George Woodwell, Charles Wurster y Peter Isaacson en los años sesenta, se identificó la red alimentaria de un estuario de Long Island y se estudiaron las concentraciones de DDT en sus elementos. Según ese estudio, algunas plantas acuáticas presentaban concentraciones de DDT de menos de 0,1 partes por millón (p.p.m.), mientras que, en el otro extremo de la cadena alimentaria, las aves depredadoras poseían concentraciones de 75 p.p.m.[6] Tal es el resultado combinado del mecanismo en pirámide y la causa de que los organismos de la cúspide de la cadena alimentaria tengan una vida más larga.

En realidad, las altas concentraciones de DDT y otros hidrocarburos clorados en el extremo superior de las cadenas tróficas han supuesto una seria amenaza para las poblaciones de pelícanos, ratoneros, águilas y otras aves de presa. Dichos venenos bloquean la formación de las cáscaras del huevo, que llegan a ser tan delgadas que el peso de los propios padres los revienta al ser empollados. Afortunadamente, gracias a la prohibición casi total del DDT en Estados Unidos y a las restricciones en otros países, ha disminuido considerablemente la amenaza que se cernía sobre las aves de presa.

No obstante, la experiencia obtenida con el DDT dejó bien patente cuán sensibles son los depredadores a los venenos que la humanidad introduce en los ecosistemas, tanto por el reducido tamaño de sus poblaciones (que de por sí ya los hace más propensos a extinciones casuales y a pérdidas de variabilidad) como por el proceso de bioconcentración que los expone a concentraciones de esas sustancias venenosas, más elevadas que aquéllas a las que se ven expuestos los herbívoros.

Asimismo, existe otra razón por la cual los depredadores tienden a ser más vulnerables a la extinción que los herbívoros. Los herbívoros mantienen desde hace muchos millones de años una guerra evolutiva contra las plantas, que han desarrollado sistemas cada vez más perfectos en su lucha contra los herbívoros, y éstos a su vez han creado mecanismos para eludir las defensas vegetales.

Esta evolución escalonada y recíproca de organismos ecológicamente ligados recibe el nombre de *coevolución*.[7] Las plantas siempre resultarán vencidas en su «carrera coevolutiva» contra los comedores de plantas, ya que no pueden huir. En consecuencia, tienen que recurrir a una coraza y a la guerra química. Las espinas de plantas como los cactus constituyen un claro mecanismo de defensa contra determinados animales, pero casi todas las especies, la cafeína, la nicotina, los ingredientes activos de las drogas como la marihuana, la cocaína, el opio y la heroína, así como muchos medicamentos y otros compuestos defensivos sintetizados por las plantas para intoxicar a los herbívoros.

Así pues, los insectos herbívoros han sufrido una enorme experiencia evolutiva debido a los pesticidas, ya que están preadaptados al ataque con toxinas y pueden responder fácilmente a los intentos humanos de envenenarlos, desarrollando variantes resistentes. Por el contrario, los depredadores no han experimentado nunca semejante presión para desarrollar defensas fisiológicas contra el envenenamiento, por lo que pueden carecer de sistemas susceptibles de una rápida modificación para destoxificar un nuevo pesticida. Si se une este dato al reducido tamaño de sus poblaciones, el riesgo que corren los depredadores es mayor que en los herbívoros, además de ser más sensibles a la extinción.

En general, toda población de un ecosistema natural ha desarrollado una serie de características que la convierten en elemento funcional único de ese sistema, además de ser capaz de tolerar todo el espectro de propiedades físicas (temperatura, humedad, salinidad) característico del ecosistema en el que se ha situado, de tal modo que resulta más o menos compatible con los otros organismos del ecosistema. La variación geográfica es una manifestación de las poblaciones en su adaptación al ecosistema.

SERVICIOS DEL ECOSISTEMA

Puestos ya en antecedentes sobre la estructura y organización de los sistemas ecológicos, es necesario comentar cómo se sustenta la vida humana. A este respecto, se debe recordar que poblaciones y especies, amenazadas o no, son componentes vitales de los sistemas medioambientales naturales. Cada clase de organismo tiene su propia función en el ecosistema y, en cierto grado —a menudo excesivamente alto— es esencial para el buen funcionamiento continuado de ese sistema. A su vez, cada clase de organismo depende de otros elementos del ecosistema para su propia existencia.

Es imposible disociar la protección de las especies de la protección de los ecosistemas naturales ya que son dos aspectos de la misma serie fundamental de recursos. En teoría, la pérdida de *cualquier* especie puede afectar a cualquiera de las funciones generales de un ecosistema, y si las extinciones en el sistema se repiten, probablemente surgirán graves inconvenientes.

Mantenimiento de la calidad de la atmósfera

La mezcla de gases y otras sustancias de la atmósfera de la Tierra fue creada, en gran medida, por los seres vivos del planeta, y son estos seres vivos quienes mantienen su composición apta para la vida. Aproximadamente un 21 % del oxígeno que respira el ser humano y los demás animales terrestres, es producto de la actividad fotosintética de las plantas verdes. Cuando no se producía fotosíntesis, la atmósfera carecía de oxígeno y, en consecuencia, no existían animales. El resto del aire es, en su mayor parte, nitrógeno (78 %). La concentración de este elemento en la atmósfera está controlada por el ciclo del nitrógeno, descrito anteriormente.

La proporción de esos dos gases en la atmósfera es vital ya que una disminución significativa de la concentración de oxígeno produciría enormes desastres. Sin embargo, pocas personas son conscientes de que un pequeño aumento en dicha proporción también sería letal. Si la concentración de oxígeno se incrementara del 21 al 25 %, la vida terrestre sería imposible. Si cayera un rayo en una atmósfera con un 25 % de oxígeno la húmeda selva tropical ardería sin control alguno, y toda la vegetación sería pasto de un fuego planetario.

Aproximadamente un 1 % del aire seco que no es oxígeno ni nitrógeno, contiene diversos gases importantes para la humanidad, cuyas concentraciones también están controladas por el funcionamiento de los ecosistemas. Entre ellos figuran el dióxido de carbono y el ozono, ambos vitales en la regulación del clima, y el metano, que interviene en la regulación de la concentración de oxígeno.

Dado que las reservas atmosféricas son enormes deberían transcurrir millones de años para que se produzcan cambios significativos en la concentración de oxígeno y nitrógeno, aun cuando la regulación por los ecosistemas estuviera seriamente perturbada. Además,

el grado de perturbación requerido para producir cambios sustanciales ya habría acabado con la civilización por otros medios.

Sin embargo, este resultado no es el mismo si lo que cambian son los componentes gaseosos «menores» o el vapor de agua, que en parte también se mantienen en la atmósfera gracias a los procesos biológicos. El ozono, por ejemplo, cuya concentración en la atmósfera es de una parte por cien millones, elimina la radiación ultravioleta del Sol —muy perjudicial para las plantas y los animales—, así que un cambio en la concentración de ozono puede afectar al clima.

Otro gas producido por los ecosistemas, el óxido nitroso, influye en la concentración de ozono, aunque no se sabe muy bien cómo. Lo que sí se sabe es que los microorganismos que producen óxido nitroso, lo hacen hasta cierto punto, a una tasa muy elevada si su medio ambiente se vuelve más ácido. En el capítulo 7, se hará referencia a cómo las actividades humanas han acidificado la lluvia. Durante este proceso, la humanidad ha provocado probablemente la formación de más óxido nitroso, lo que a su vez puede estar dañando esa vital pantalla de ozono.

Por otra parte, debería señalarse que los ecosistemas también pueden ayudar a controlar el contenido de polvo de la atmósfera (que afecta tanto al ser humano como al clima) mediante las funciones de retención de suelos. Las plantas, por su parte, eliminan el polvo y otros contaminantes de la atmósfera, por lo que los bosques pueden ser considerados como gigantescos filtros de aire.

Control y mejora del clima

Los ecosistemas no son sólo los responsables de la calidad y la composición actual de la atmósfera, sino que condicionan profundamente las pautas globales de circulación del aire que determinan el clima y el estado del tiempo en cualquier parte del mundo. La máquina atmosférica de nuestro planeta está impulsada por la energía del Sol. El calor solar genera columnas de aire ascendente sobre las áreas cálidas de la superficie, que es sustituido por masas de aire descendentes en las más frías. El resultado es la circulación de la atmósfera. El calor del Sol evapora asimismo agua de los océanos y de las fuentes de agua dulce. Cuando el aire caliente y húmedo asciende, se enfría, forma nubes y entonces puede llover (o nevar).

El sistema básico calentamiento/evaporación es muy complicado debido a las irregularidades de la superficie terrestre. Las cordilleras, por ejemplo, influyen en un alto grado en la meteorología de sus inmediaciones porque obligan al aire a subir por el lado de barlovento, enfriándolo y originando precipitaciones en este flanco de la cadena, mientras que en la otra vertiente se produce una «sombra pluviométrica».

Como el Sol es la fuerza rectora del sistema meteorológico, no es de extrañar que los factores que influyan en la cantidad de energía solar que es absorbida por la Tierra, sean importantes en la determinación del clima. Entre ellos se cuentan la reflectividad de la atmósfera (las nubes reflejan parte de la luz solar hacia el espacio exterior), la reflectividad de la superficie (los desiertos reflejan más que los bosques), y el confinamiento de la energía solar en la atmósfera, un mecanismo conocido como efecto de invernadero.[8]

Los ecosistemas del planeta influyen en estos tres factores críticos. Por ejemplo, la selva de la cuenca del Amazonas recicla muchas veces el agua de lluvia. No todo el agua que cae en la selva fluye directamente al mar sino que la mayor parte de la misma vuelve a la atmósfera gracias al prodigioso bombeo de las plantas. Por ejemplo, en un jardín, la postura erecta de las hierbas y la forma de las hojas de los árboles dependen de la disponibilidad de agua para las plantas. De hecho, éstas extraen constantemente agua del suelo para no marchitarse y mantenerse activas, y el agua pasa de la planta a la atmósfera. Así pues, la nubosidad sobre la cuenca del Amazonas es el resultado, en gran medida, de la actividad de la selva de la cuenca.

Si se talara el bosque, disminuiría la reflectividad de la atmósfera en el área, a la vez que aumentaría la del suelo. El resultado que cabe esperar es que el clima de la región fuera sensiblemente más seco y cálido. Siempre que se altere de manera drástica la comunidad biótica de un área, cambiará la reflectividad de la superficie y quizá la de la atmósfera, a lo que seguirá algún cambio en el clima local o incluso regional. La dirección y magnitud de los cambios dependerá de la importancia de la alteración en la comunidad biótica y del tamaño del área afectada. Los cambios climatológicos rara vez resultan más adecuados que los anteriores desde la perspectiva de la población humana local.

Los ecosistemas también influyen en la reflectividad de la Tierra de otras muchas maneras. Por ejemplo, las plantas de los ecosistemas naturales fijan, con bastante firmeza, el suelo del lugar. Cuando esos sistemas son suprimidos o alterados por la introducción del

pastoreo o el cultivo de la tierra, las pérdidas de suelo tienden a aumentar. La erosión del viento es responsable de parte de esas pérdidas; en algunas zonas del mundo, el trasvase del suelo hacia la atmósfera es tan continuo que se forman nubes más o menos permanentes, como es el caso de la neblina de Harmattan en África. La presencia de polvo en la atmósfera cambia la reflectividad de la atmósfera y, por consiguiente, influye en el clima.

Un ejemplo de la profunda influencia de los ecosistemas en el clima regional es un problema que afecta de manera creciente a buena parte del mundo: la desertización, es decir, la conversión de zonas aptas para la agricultura o el pastoreo en yermos desérticos. Además, la sobreexplotación del suelo desata un proceso de deterioro que se autorrefuerza. Por ejemplo, las especies ramoneadoras seleccionan y explotan de forma natural las especies vegetales más comestibles. A medida que desaparece la cubierta vegetal, el agua superficial se evapora más rápidamente, el clima se vuelve más seco y empieza la espiral descendente. El suelo desnudo, apelmazado por las pisadas de los animales, resulta más vulnerable a la erosión, tanto por la lluvia, cuando se produce, como por el viento. Estos cambios, por su parte, crean condiciones cada vez más duras para las plantas, por lo que en ese suelo en proceso de deterioro, crecerán pocas plantas realmente útiles. Esto a su vez incrementa la presión de ramoneo sobre las especies importantes, con lo que el territorio de apacentamiento se convierte en un desierto.

Existen razones más que suficientes para creer que el sobrepastoreo —resultado de la sobrepoblación de seres humanos y sus correspondientes animales— es responsable en alto grado de la expansión hacia el Sur del desierto de Sahara que tuvo lugar hace varias décadas en la zona conocida como el Sahel. Durante un período de sequía que se prolongó desde finales de los años sesenta hasta mediados de los setenta, las vacas y las cabras de la población nómada devoraron prácticamente todas las plantas verdes que surgían de la superficie del suelo. Es posible que la sequía constituyera un acontecimiento cíclico normal, pero la presión de la población humana y del ganado han intensificado sin duda alguna sus consecuencias. Los métodos climáticos indican que el mismo incremento de reflectividad provocado por la desaparición de la vegetación ha reducido aún más la ya de por sí escasa pluviosidad de la región.[10]

Quizá la manera más espectacular que tienen los ecosistemas de influir en el clima sea la modificación del contenido de dióxido de carbono (CO_2) en la atmósfera. Muchas actividades humanas liberan CO_2 en la atmósfera, la más destacada de las cuales es el consumo de combustibles fósiles y el clareo y quema de bosques. Al mismo tiempo, el dióxido de carbono es eliminado de la atmósfera, absorbido por los océanos y captado por las plantas verdes en el curso de la fotosíntesis. Actualmente no existe acuerdo general sobre cómo se equilibran entre sí estos procesos; pero, sin lugar a dudas la concentración de CO_2 está aumentando en la atmósfera.

Algunos científicos afirman que una fracción significativa de este incremento se debe a la combinación de un descenso en la cantidad global de fotosíntesis, producido por el constante clareo forestal del planeta, añadido a un aporte adicional de dióxido de carbono a la atmósfera por combustión de la madera que estaba en esos bosques.[11] Así pues, la misma destrucción generalizada de ecosistemas forestales que está provocando la extinción de especies, puede contribuir también a producir un grave problema ambiental. Sin embargo, otros científicos declaran que el efecto del clareo y de los incendios forestales es irrelevante en comparación con el consumo de combustibles fósiles, o bien, que está compensado por la fotosíntesis adicional que se realiza en las tierras de cultivo. No obstante, unos y otros coinciden en afirmar que los ecosistemas de la Tierra están íntimamente implicados en el mantenimiento del equilibrio del CO_2 en la atmósfera. Éste es uno de los principales servicios prestados por numerosas especies de seres vivos.

Así pues, se debe tener en cuenta que un aumento del CO_2 atmosférico puede dar lugar a un incremento de la temperatura global media. Incluso un incremento pequeño —del orden de un grado— podría traducirse en cambios dramáticos del clima de buena parte del mundo. La estabilidad de los regímenes climáticos depende de pequeñas diferencias entre grandes números ya que un cambio en la temperatura media del planeta, por insignificante que parezca, puede provocar grandes alteraciones en el reparto de las precipitaciones, de igual modo que una centésima de onza más de presión puede incendiar un arma cuyo disparador precisa una presión total de seis onzas.

Por supuesto, cualquier cambio significativo en el clima afecta a los ecosistemas y a las diversas especies que en él viven. De hecho, algunos cambios climáticos bruscos han provocado la extinción de poblaciones de organismos, así que una alteración planetaria de las pautas climáticas, como la que produciría un incremento del CO_2, tendría efectos graves sobre la fauna y la flora del mundo.

Un hecho mucho más preocupante para la humanidad es que

un cambio de ese estilo en los patrones climatológicos —un aumento o una mengua de la precipitación media, o un cambio en la duración de la temporada de crecimiento, por ejemplo— produciría serios problemas en la agricultura ya que las prácticas agrícolas están adaptadas a las condiciones climáticas locales. Si cambia el clima, el agricultor debe acomodarse a ello, pero como suelen utilizar sistemas muy tradicionales, el proceso es tan lento que, durante el mismo se pueden perder las cosechas. El incremento del CO_2 puede ocasionar cambios climáticos en todas las regiones productoras de alimentos de la Tierra, y esto, a su vez, podría dar lugar a la pérdida generalizada de cosechas, así como a hambrunas catastróficas. Como ha comentado el físico John Holdren, es probable que antes del año 2020 alguna hambruna debida a cambios climáticos inducidos por el CO_2 pueda matar hasta mil millones de personas.[12] Tal sería el elevado precio a pagar por destruir poblaciones e incluso especies enteras de árboles tropicales.

Regulación de los suministros de agua dulce

Íntimamente ligado a la función de moderadores climáticos, los ecosistemas desempeñan un importante papel como reguladores de los suministros de agua dulce. Por ejemplo, las laderas boscosas tienden a retener y a reponer el suelo, además de poseer una gran capacidad para absorber la lluvia. Este agua de lluvia pasa luego, gradualmente, a los manantiales y arroyos. De igual modo, los bosques también son capaces de eliminar contaminantes del agua de lluvia, como ácidos, metales pesados y sustancias radiactivas. En consecuencia, el agua de esos manantiales y arroyos suele ser de una calidad superior a la que originalmente cayó sobre el bosque.[13]

El valor que tienen para la humanidad estos servicios de retención y conservación de suelos y agua, prestados por los sistemas naturales (especialmente los bosques), sólo se llega a apreciar cuando el sistema ha sido dañado o ha desaparecido por completo, junto a los correspondientes servicios. Tras la deforestación, el agua de lluvia corre torrencialmente por las laderas, erosionando rápidamente el suelo, anegando de barro las tierras bajas adyacentes y creando períodos alternativos de sequía y riada.

Es impresionante visualizar desde un avión esos ríos marrones, que arrastran en dirección al mar carretadas de precioso suelo procedente de las tierras altas despobladas. Uno de los casos más graves de riadas tuvo lugar en la República Dominicana al ser asolada por un tremendo huracán en 1979. Si los bosques hubieran estado intactos, las pérdidas de vidas y bienes habrían sido, sin duda alguna, mucho menores. En junio de 1979, los monzones causaban en la India pérdidas que se elevaron a dos mil millones de dólares, y las riadas en el valle del Ganges se cobraron muchas vidas humanas. Las riadas eran el resultado de la deforestación, no sólo en los estados del Norte de la India, sino también en el vecino Nepal.[14]

Recientemente se ha señalado en un informe que la altura de la crecida anual del Amazonas en Iquitos, Perú, ha aumentado de forma sustancial desde 1970, debido, al parecer, a una deforestación a gran escala, seguida de bruscos incrementos de población en las zonas altas de la cuenca en Perú y Ecuador. Los autores del informe concluyen que, aunque la mayor parte del bosque amazónico está todavía sin talar, «los cambios hidrológicos y climáticos regionales que resultarían de la deforestación amazónica, predichos hace tiempo, pueden haber empezado ya».[15] Las consecuencias de posibles aumentos en la crecida del río serían catastróficas para la población de la Amazonia, que vive concentrada en los márgenes del río.

La deforestación puede producir cambios en el propio régimen local de lluvias. En muchas áreas, sobre todo en los trópicos, la destrucción del sistema forestal reciclador de la humedad tiene como resultado la reducción de la precipitación, localmente y en la dirección del viento. Algunas áreas anteriormente cubiertas de bosque húmedo, son en su totalidad desiertos, como es el caso de la mayor parte del empobrecido noreste brasileño.

Formación y mantenimiento del suelo

Los suelos se renuevan continuamente gracias a las fuerzas físicas que producen la descomposición de las rocas, así como a la actividad concertada de infinidad de plantas y animales, muchos de ellos microscópicos. Estos organismos ayudan a desmenuzar la roca añadiendo materias orgánicas. Sin embargo, la tasa de generación del suelo suele ser muy lenta, más o menos del orden de unas pulgadas cada mil años. Además, los suelos no son mera roca pulverizada, sino que, en sí mismos, constituyen ecosistemas enormemente complejos. Su fertilidad es, en gran medida, el resultado de la actividad de organismos que pasan desapercibidos, como bacterias,

hongos, lombrices y acáridos, todos los cuales desempeñan funciones específicas, adaptadas al suelo en que viven.

La diversidad de organismos en un pequeño pedazo de suelo es en verdad asombrosa. Por ejemplo, en menos de un metro cuadrado de suelo de pasto danés se encontraron unos 45.000 parientes de la lombriz de tierra, 10 millones de ascáridos y 48.000 diminutos insectos y acáridos. Un gramo de suelo agrícola fértil puede contener 30.000 animales unicelulares, 50.000 algas, 400.000 hongos y más de 2.500 millones de bacterias.[16]

La importancia de esos diminutos componentes vivos del suelo nunca se valora suficientemente. Entre ellos existen microbios que «fijan» el nitrógeno atmosférico, dejándolo disponible para otros organismos, así como descomponedores, tan esenciales para reciclar todos los nutrientes. Las lombrices y hormigas también desempeñan una importante función de «remodelación» del suelo, es decir, sacan a la superficie las partículas del fondo y viceversa, lo cual facilita el proceso de descomposición y mantiene el suelo lo suficientemente suelto como para que puedan pasar a su través el aire y el agua.

Algunos de los organismos menos evidentes pueden figurar entre los más importantes del ecosistema. Por ejemplo, ciertos hongos son esenciales para el mantenimiento de las poblaciones de diversos árboles. Aunque a un observador superficial puede parecerle que el organismo dominante en un bosque es un árbol gigantesco, en realidad, el organismo más esencial podría ser un oscuro pariente de las setas que crecen en el suelo del bosque. Los árboles pueden ejercer cierta dominancia ecológica, controlando las condiciones idóneas de los demás organismos, pero no podrían sobrevivir sin los hongos que les ayudan a obtener los nutrientes del suelo.

Estos organismos del suelo son de vital importancia para la productividad agrícola, del mismo modo que lo son para los ecosistemas naturales. La pérdida de sus servicios en el mantenimiento de la fertilidad del suelo sería desastrosa para la agricultura y no podría ser compensada en absoluto por fertilizantes artificiales.

Eliminación de residuos y reciclado de nutrientes

Íntimamente relacionadas con las funciones de los ecosistemas en la regeneración y mantenimiento del suelo se encuentran la eliminación de residuos y el reciclado de nutrientes. Los organismos

descomponedores, que disponen de todos los residuos producidos por los organismos y de sus cuerpos cuando mueren, suelen vivir en el suelo. Los descomponedores reducen las grandes y complejas moléculas orgánicas, presentes en los excrementos y cuerpos muertos, a productos inorgánicos simples —principalmente nutrientes— que pueden entonces volver a sus puntos de partida en el sistema, a menudo por vías indirectas. Así pues, el reciclado de los nutrientes y la eliminación de residuos son dos aspectos del mismo proceso biológico.

Por ejemplo, un átomo de nitrógeno de la proteína muscular de una vaca muerta en las montañas litorales del sur californiano, puede introducirse en una hebra del ADN (la molécula portadora del código genético) de un cóndor de California después de que éste se alimente del cadáver de la vaca. Este átomo de nitrógeno puede pasar, en el ADN, a una hija del cóndor y, por último, incorporarse a los procesos vitales de un escarabajo que se ha alimentado del cadáver de la hija del cóndor al morir ésta. Asimismo, este átomo podría ser excretado por el escarabajo después de incorporarlo a una molécula de ácido úrico, y de ahí, volver a la atmósfera en forma de nitrógeno elemental por acción de una bacteria del suelo. El átomo de nitrógeno puede ingresar de nuevo en los elementos vivos del ecosistema a través de las operaciones de una bacteria fijadora de nitrógeno que reside en una raíz de una planta de alfalfa. Una vez incorporado a la proteína de la planta, podría pasar a una vaca que haya comido esa alfalfa, y entrar a formar parte de la proteína muscular de la vaca, con lo que, en cierto sentido, habría regresado al punto de partida.

Los organismos propios del nivel trófico de los descomponedores influyen desde diminutas bacterias hasta hienas y buitres. Estas criaturas suelen ser especialistas de la función que realizan, y, a veces, soportan una competencia muy intensa por el alimento.[17] La acción de los descomponedores es también importantísima para la eliminación de los residuos producidos por la humanidad. Ciertas bacterias son parte fundamental del proceso de depuración de las aguas residuales. Desgraciadamente, los nutrientes liberados en su acción suelen ir a parar a los ríos o al mar, en lugar de volver al suelo. Los microbios peligrosos que puedan hallarse en las aguas residuales o en otros desechos también son destruidos por los descomponedores, bien en el tratamiento de las aguas residuales, o bien en los sistemas naturales. Así pues, los ríos pueden autopurificarse, de modo que el agua resulta apta de nuevo para el consumo

humano, siempre, por supuesto, que no se inunde el ecosistema acuático con venenos, que no se sobrefertilice con torrentes de nutrientes y que no se caliente con emisiones de centrales energéticas.

Muchos residuos industriales que van a parar al medio ambiente también pueden ser degradados y descompuestos por los ecosistemas. Entre ellos figuran jabones, detergentes, pesticidas, derrames de petróleo, fenoles, ácidos, álcalis, papel, plásticos, neumáticos viejos, etc. La mayoría se desintegran más o menos rápidamente en condiciones físicas adecuadas y en presencia de un descomponedor apropiado, pero algunos, como el DDT y ciertos plásticos son prácticamente indestructibles y son estos verdaderos «residuos» los que produce precisamente el *Homo sapiens*.

El mantenimiento en buen estado de salud de las funciones recicladoras de nutrientes y de los ecosistemas de la Tierra es de vital importancia, ya que sin la acción de la infinidad de organismos responsables de la desintegración de los residuos y del reciclado del carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y demás elementos esenciales, toda la vida de la Tierra se extinguiría rápidamente.

Control de plagas y enfermedades

Los ecosistemas naturales controlan la inmensa mayoría de las plagas potenciales de los cultivos así como los transmisores de las enfermedades humanas. El ser humano ha tratado con frecuencia de ejercer también dicho control, pero a menudo los resultados no han sido satisfactorios. Cuando fallan los intentos de controlar las plagas, en general se debe a que los controladores no han comprendido el funcionamiento del ecosistema.

En 1949, por ejemplo, los cultivadores de algodón del valle de Cañete, en Perú, creyeron que el DDT era la solución a sus problemas. Al principio, un poco de DDT aplicado a sus campos consiguió controlar diversas plagas importantes del algodón. Y, como es lógico, los agricultores dedujeron que si con una pequeña cantidad se obtenían buenos resultados, una cantidad mayor proporcionaría mejores resultados. Por lo tanto, se fumigaron más y más campos con DDT y sus derivados, hasta que a mediados de los años cincuenta sobrevino el desastre. Las producciones cayeron muy por debajo del nivel que se obtenía antes de fumigar los cultivos. No sólo las viejas plagas se volvieron resistentes a los venenos que se empleaban en su contra, sino que toda una nueva lista de insectos

que nunca habían actuado como plagas, obtenían ahora la condición de tal.[18]

Este «ascenso» a la categoría de plaga ya era conocido por los biólogos, pero la mayoría de los industriales dedicados a la fabricación de pesticidas y los burócratas de los departamentos de agricultura todavía no se daban por enterados. Los herbívoros, como ya se ha explicado anteriormente, casi siempre son más difíciles de envenenar que los carnívoros. Durante el proceso de aplicación de veneno a los campos, los peruanos diezmaron las poblaciones de muchos depredadores y «libraron» a las posibles presas de las fuerzas que hasta entonces habían controlado sus efectivos. El resultado fue la explosión instantánea de la población de nuevos tipos de plagas, incluidos los escarabajos enrolladores de hojas, y los noctuidos *Argyrothaemia spheloropa* y *Heliothis virescens*.

La experiencia del valle de Cañete se ha repetido en otros muchos lugares del mundo. Los ácaros tetraníquidos, hoy día una de las plagas agrícolas más importantes, son esencialmente una creación de la industria del DDT ya que se convirtieron en plaga tras el empleo masivo de dicho pesticida (que apenas afecta a los ácaros), que redujo casi en su totalidad las poblaciones de los insectos depredadores que normalmente controlan los ácaros.

Estas experiencias ponen de manifiesto el servicio fundamental del ecosistema: el control de las poblaciones de especies que, de alterarse el ecosistema, son capaces de convertirse en importantes enemigos del *Homo sapiens*. Al parecer, más del 95 % de los organismos capaces de competir seriamente con el ser humano por el alimento, o que pueden perjudicarle mediante transmisión de enfermedades, están ahora controlados de forma gratuita por determinadas especies que habitan en los ecosistemas naturales.

Polinización

Otro de los servicios prestados por los ecosistemas es la polinización, un mecanismo necesario para la eficaz producción de una gran mayoría de plantas con flor. Sólo en Estados Unidos, unos 90 cultivos dependen de la polinización a través de insectos, mientras que otros 9 se benefician de dicha polinización mediante insectos.[19]

Un número sorprendente de organismos, en su mayoría insectos, se encargan de prestar este servicio. En un estudio realizado en Utah, se observó que las flores de la zanahoria recibían la visita de

334 especies de insectos, pertenecientes a 37 familias distintas. Los polinizadores más eficientes son las abejas colmeneras, las avispas, las moscas cernícalo, las abejas solitarias y las moscas acorazadas. En cambio, muchas clases de higos de fácil comercialización dependen por completo, para su polinización, de unas diminutas avispas que, a su vez, son absolutamente tributarias de las flores del higo como lugar de cría. En realidad, parece ser que cada una de las más de 900 especies de higos tiene su propia especie de avispa polinizadora a la vez que dependiente.[20]

Las abejas colmeneras, que básicamente son especies domesticadas, polinizan diversos cultivos. Por el contrario, otros muchos cultivos necesitan, para su polinización, los servicios de insectos silvestres; por ejemplo, en las regiones húmedas más frías la alfafa es polinizada con mayor eficacia por abejas silvestres. La agricultura de muchas partes del mundo pagaría un alto precio si no se pudiera contar con la colaboración de abejorros, abejas solitarias, y un gran surtido de moscas, entre otros insectos, que viven en libertad en los ecosistemas naturales adyacentes. También se extinguirían muchas miles de especies vegetales silvestres.

Suministro directo de alimentos

Además de su función como sostén de la agricultura, los ecosistemas también proporcionan directamente alimentos a la humanidad. El alimento procedente del mundo oceánico y de los sistemas de agua dulce es el ejemplo más evidente e importante de todos. En la inmensa mayoría de las pesquerías, únicamente se practica la captura, es decir, no existe ni pastoreo ni el cultivo. Los ecosistemas terrestres producen asimismo alimento «gratis» en forma de animales de caza y plantas silvestres como nueces, bayas y jarabe de arce. La caza, como los peces, proporciona un suplemento de proteínas crucial para la dieta de muchos países desarrollados.

Mantenimiento de la biblioteca genética

El *Homo sapiens* obtiene muchos beneficios directos de miles de especies, componentes todas ellas de los ecosistemas naturales. El mundo vivo cuenta con una enorma «biblioteca» orgánica de la que la humanidad ya ha retirado una amplia colección de sustancias útiles, que abarcan desde productos alimentarios hasta drogas y aceites lubricantes. Es indudable que los sistemas naturales siguen guardando muchos miles de organismos y productos útiles aún por descubrir. El mantenimiento de esta biblioteca es uno de los servicios más valiosos —y más irreemplazables— prestados por los ecosistemas a la humanidad.

EXTINCIONES Y SERVICIOS DE LOS ECOSISTEMAS

La respuesta es que si la tasa de extinción sigue creciendo, peligrarán *todos* los servicios esenciales que los ecosistemas prestan a la humanidad, si bien el grado de deterioro variará, sin duda alguna, según el lugar en el que actúe.

En algunos casos, puede producirse la sustitución parcial mediante la tecnología de un determinado servicio proporcionado por un ecosistema. Por ejemplo, un bosque plantado que contenga muy pocas especies puede igualar, o incluso mejorar, las propiedades de retención edáfica y distribución hídrica de un bosque natural. Sin embargo, la estabilidad a largo plazo de un bosque plantado puede ser mucho menor que la del natural. En general, la conversión de un ecosistema forestal natural en uno prefabricado puede realizarse con mucho más éxito en las regiones templadas con suelos profundos, ricos, henchidos de nutrientes, que en las regiones de selva tropical, donde a menudo los suelos son muy pobres y los nutrientes se hallan concentrados, en gran medida, en las propias plantas.

Si se elimina el bosque, total o parcialmente, será necesario controlar las riadas y construir embalses. Por otro lado, esto compensa en parte la pérdida del servicio del ecosistema, e incluso permite disponer de grandes abastecimientos de agua para ciudades situadas lejos de una fuente de agua, pero no controla la erosión del suelo ni regula el clima local. Y, además, la eliminación del bosque tiene efectos destructores sobre los ecosistemas fluviales y ribereños.

Por otro lado, la sustitución de ciertos servicios de los ecosistemas es imposible; evidentemente, el deterioro de la diversidad biológica compromete, de modo continuo y automático, la calidad de la biblioteca genética. La pérdida de cualquier especie es una pérdida irreparable de un recurso potencial.

Es difícil predecir cuáles serán los efectos de la pérdida de po-

blaciones y especies para los sistemas edáficos y las funciones de reciclado de nutrientes y de eliminación de residuos. Probablemente varíen mucho, en función de las poblaciones y especies que se hayan perdido. Por ejemplo, si se perjudica a los organismos fijadores de nitrógeno, los resultados podrían ser muy graves para la agricultura. Por supuesto, la humanidad puede suplirlos con fertilizantes nitrogenados artificiales, pero existen problemas ambientales asociados a su empleo masivo. Incluso en Estados Unidos, que es uno de los principales usuarios de fertilizantes, los sistemas naturales proporcionan muchísimo más nitrógeno que los fertilizantes.[21]

En la lucha contra las plagas y los transmisores de enfermedades, la pérdida de los servicios de los ecosistemas probablemente tenga resultados catastróficos, ya que el control eficaz de una plaga constituye un grave problema difícil de resolver, incluso con la ayuda de dichas funciones. Por desgracia, los efectos secundarios del actual control químico de las plagas incluyen, por lo general, el deterioro del propio servicio de control de plagas y, en consecuencia, un empeoramiento del problema que se pretendía eliminar. La sustitución del control natural de las plagas y los transmisores de enfermedades es, en el mejor de los casos, sumamente compleja, y a menudo imposible.

Así pues, en la mayoría de los casos, los sustitutos tecnológicos de los servicios de los ecosistemas sólo obtienen un éxito parcial. Casi siempre la propia naturaleza produce mejores resultados. Cuando la sociedad sacrifica los servicios naturales para obtener alguna ventaja más (ampliar la agricultura, por ejemplo, o extraer madera, o bien obtener recursos minerales) se deben pagar los costos de la sustitución. Además, el comportamiento actual de la humanidad afecta cada vez más a muchos servicios al mismo tiempo, con lo que los problemas logísticos de reemplazarlos se vuelven, aun cuando son posibles, mucho más difíciles.

Predicción del comportamiento de los ecosistemas

Uno de los grandes problemas de los ecólogos es su incapacidad para predecir, la mayoría de las veces, las consecuencias que tiene, la extinción de cualquier especie o población dada en un ecosistema. Las dificultades son inmensas, ya que cada ecosistema, se definan como se definan sus límites, es único. Además, la posesión de un conocimiento limitado indica que las consecuencias de exterminar cualquier grupo concreto de organismos también serán, probablemente únicas. Algunas especies, por ejemplo, parecen funcionar de un modo que se conoce como especies «clave». Si desaparece del sistema una especie clave, su pérdida suele ir seguida de un alud de nuevas extinciones.[22]

La desaparición de una estrella de mar depredadora de una comunidad intermareal (los organismos que viven en el litoral entre las líneas de mareas alta y baja), provocó una disminución en menos de dos años de quince especies a ocho. Los mejillones (la presa favorita de la estrella de mar) aumentaron sus efectivos en ausencia de ésta y sobreexplotaron otras especies, provocando su extinción local.[23] Existen razones para creer que las especies clave son un fenómeno común; sin embargo, se han identificado muy pocas debido a las dificultades de realizar experimentos adecuados, así como la perturbación que esto podría provocar en los ecosistemas objeto de estudio.

Por otra parte, muchas especies, algunas con un parecido superficial con las especies claves de su mismo nivel trófico, pueden no poseer esa función, por lo que su pérdida tendría escasas consecuencias para las características generales del ecosistema y los servicios que éste presta, ya que sus diversas funciones pueden ser realizadas por otros organismos. Un insecto que sólo se alimenta de una determinada especie de planta, por ejemplo, puede compartir su recurso alimenticio con otras cinco especies de insecto, conejos y ciervos. Por su parte, los sapos, lagartos y pájaros que se alimentan de ese insecto, contarían con otras varias especies de insecto para alimentarse, caso de que éste desapareciera, lo cual puede ser un factor importante para la estabilidad y la flexibilidad de las propiedades funcionales de muchos ecosistemas naturales.[24] No obstante, el sistema se desestabilizaría si esos competidores del insecto fueran diezmados, o lo fueran sus depredadores.

No resulta del todo cierto que se puedan reemplazar fácilmente los servicios de los ecosistemas naturales por los equivalentes de los sistemas gestionados, ya que los ecólogos no pueden precisar al detalle su vulnerabilidad. En primer lugar, existe un problema manifiesto de escala ya que el esfuerzo que el *Homo sapiens* puede invertir en tal gestión es limitado. Los reemplazos posibles de las funciones de un ecosistema natural requieren enormes cantidades de capital, energía, materiales y mano de obra. El ecólogo F. H. Bormann, de la Universidad de Yale, resumía el problema al referirse a la pérdida de los servicios de los ecosistemas forestales:

Estas funciones naturales están impulsadas por la energía solar y, a medida que se pierden, si ha de mantenerse la calidad de vida, deben ser reemplazadas por inversiones continuas y extensivas de combustible fósiles y otros recursos. Es necesario encontrar sustitutos para los productos de la madera, construir obras para controlar la erosión, ampliar embalses, mejorar la tecnología de control de la contaminación atmosférica, instalar obras para controlar las avenidas, mejorar las estaciones depuradoras de aguas, incrementar el aire acondicionado y proporcionar nuevas instalaciones recreativas. Estos sustitutos representan un enorme gravamen impositivo, una sangría de la provisión mundial de recursos naturales y una presión creciente sobre los sistemas naturales. Evidentemente, el menoscabo de los sistemas naturales impulsados por la energía solar y la expansión de los sistemas humanos accionados por combustible fósil han caído, en el presente, en un ciclo de realimentación positiva. Consumir cada vez más energía fósil significa una presión creciente sobre los sistemas naturales, lo que a su vez entraña un mayor consumo de energía fósil para reemplazar la pérdida de las funciones naturales, si ha de mantenerse la calidad de vida.[25]

Aun cuando en principio sea posible sustituir los servicios de los ecosistemas, existe otra serie de circunstancias de orden político, económico y social que a menudo interfieren con una gestión ambiental adecuada. Una muestra de ello son, por ejemplo, los intentos de manipular los cursos de agua dulce en el sudoeste de Estados Unidos (con el resultado de varios desastres ecológicos) y de mantener las praderas (que se están erosionando rápidamente). Además, muchos, si no la mayoría, de los componentes de los sistemas naturales son insustituibles; en otras palabras, *puede ser simplemente imposible sintetizar y gestionar con éxito los ecosistemas, sin tener acceso a las partes originales.*

Una dramática demostración de este punto puede apreciarse en los resultados de la introducción de ganado vacuno en las áreas más secas de África. Estos animales no han coevolucionado con la vegetación local. Los animales de pezuña locales, como la gacela de Thomson y el ñu, pacen de tal manera que, en realidad, *incrementan* la productividad de los pastizales, mientras que la vaca tiende a sobrepastar.[26] Además, los animales nativos están bien adaptados a las condiciones áridas, ya que poseen mecanismos para restringir la pérdida de agua y obtener buena parte de la que necesitan de las plantas que consumen y del metabolismo de los azúcares. (Muchos de ellos no beben nunca.) Por el contrario, la vaca necesita ir y venir constantemente a los aguaderos, con el consiguiente apelmazamiento de la superficie del terreno (lo que produce erosión), y el pisoteo de la vegetación que, de otro modo, serviría de alimento, así como también el desperdicio de su propia energía.[27]

El resultado final de la sustitución de un ecosistema natural por uno gestionado de ganado vacuno ha sido la conversión en desierto de grandes extensiones del continente africano, y la amenaza de una degradación similar en otras muchas zonas. Lo asombroso es que el sistema natural —o una versión gestionada del tipo ya descrito— es capaz de producir un rendimiento más elevado de carne y piel que el sistema vacuno. Pero existen fuerzas socioeconómicas poderosas detrás de la economía vacuna. Poco a poco, las poblaciones de animales nativos se ven empujadas a la extinción, y con su ocaso, desaparecen también las oportunidades de establecer un sistema productivo permanente. Los animales de la estepa arbustiva africana no constituyen únicamente un magnífico recurso estético del planeta, sino que forman parte activa de un ecosistema insustituible, de enorme importancia para los habitantes africanos.

Diversidad genética y servicios de los ecosistemas

Es importante recalcar el papel que la diversidad genética puede desempeñar en el funcionamiento de los ecosistemas y, en consecuencia, en la provisión de los servicios que éstos proporcionan. Por ejemplo, existen razones para creer que la diversidad genética en una población vegetal puede ayudar a proteger la plantas del ataque de los herbívoros.

Algunos de los primeros indicios al respecto se hicieron patentes en el trabajo que realizó nuestro equipo sobre la coevolución de las plantas de altramuz y la minúscula mariposa azul, *Glaucopsyche lygdamus*, que en su fase larvaria, se alimenta de las plantas del altramuz. A lo largo de ese trabajo, se descubrió que este pequeño herbívoro podía tener un impacto enorme en la producción de semillas de la planta por lo que, en consecuencia, cabía esperar que ejerciera una fuerza selectiva muy poderosa sobre las poblaciones de altramuz.[28]

No obstante, se observó que las poblaciones de altramuz no sufrían por igual el asalto de *Glaucopsyche*. Algunas plantas resultaban muy dañadas y perdían la mayor parte de sus semillas, mientras que otras perdían muy pocas. Teniendo en cuenta que las plantas se defienden de los herbívoros, sobre todo mediante sustancias químicas venenosas, el propósito era descubrir si existían dife-

rencias en esas sustancias químicas, en los altramuces de diferentes poblaciones. Los venenos más fácilmente detectables eran los alcaloides ya que los altramuces poseen abundantes alcaloides, y se partió de la suposición de que las plantas menos perjudicadas por *Glaucopsyche* tendrían concentraciones de alcaloides más elevadas.

Como ocurre con frecuencia en el campo de la ciencia, esta hipótesis resultó del todo errónea. Algunas de las poblaciones con mayor concentración de alcaloides eran las que sufrían en mayor grado el ataque de *Glaucopsyche*. La relación no se encontraba en la *cantidad* de alcaloide por planta, sino en la *variabilidad* del contenido de alcaloides entre plantas de la misma población. Las poblaciones mejor defendidas contenían plantas que diferían muchísimo entre sí en lo que a las clases y cantidades de alcaloides presentes se refiere.

Las orugas maduran en una única planta de altramuz, mientras que las mariposas adultas depositan los huevos en diversas plantas de la misma población. Si todas las plantas tuvieran la misma composición de alcaloides, cada generación de mariposas estaría sujeta exactamente a la misma presión venenosa. Esto llevaría, como ocurre con la aplicación continuada de pesticidas sintéticos, a que las mariposas desarrollasen cierta resistencia al veneno, lo que a su vez entrañaría que las plantas fueran atacadas de forma continua. La única ventaja que poseen las poblaciones variables, es que cada generación de orugas estará sometida a una gama diferente de venenos. Así, los descendientes de una mariposa que fuera resistente a la combinación de alcaloides de la planta de altramuz sobre la que ha madurado, heredarían dicha resistencia. Pero lo más probable es que, en la planta del altramuz sobre la que van a desarrollarse y de la que están condenadas a alimentarse, tengan que enfrentarse con una serie de alcaloides muy diferente. De esta forma, es mucho más difícil que puedan crear resistencia.[29]

Concluido este trabajo, otros investigadores han obtenido resultados similares, que indican, por ejemplo, que la variabilidad bioquímica es importante para la resistencia al ataque de los insectos de las poblaciones de pino ponderosa.[30] También se ha encontrado una variabilidad protectora de este tipo en los antepasados silvestres del trigo: descubrimiento que se está explotando actualmente en ciertas innovadoras investigaciones de mejora del trigo cultivado.[31]

Ya que las sustancias defensivas de las plantas son muy variables, a menudo no basta con preservar únicamente una muestra limitada de una especie para aprovechar al máximo el potencial de obtención directa de productos útiles. Además, parece que la variabilidad bioquímica *entre* y *dentro* de las poblaciones de plantas también es fundamental para el funcionamiento del ecosistema. La pérdida de variabilidad podría acarrear graves consecuencias sobre la capacidad de los ecosistemas para mantener sus servicios sustentadores de vida.

En general, la pérdida de variabilidad en cualquier población que se reproduzca sexualmente limitará su capacidad, y la del ecosistema, de evoluciconar en respuesta a un cambio del medio ambiente. Tales pérdidas son especialmente críticas en épocas de cambios rápidos, ya que se presiona al máximo la capacidad evolutiva de un ecosistema. El hecho de que los ecosistemas puedan responder al reto y continuar proporcionando servicios esenciales a la sociedad dependerá tanto de su desconocido grado de flexibilidad y capacidad evolutiva como de la desconocida buena voluntad de la humanidad para disminuir sus ataques contra ellos.

En cierto modo, hoy día el *Homo sapiens* considera que el fuerte incremento de sus asaltos en futuras décadas no conducirá a una interrupción inaceptable de los servicios. El precio de esta acción se pagará en hambrunas y en una escasez de recursos generalizadas, que pueden conducir a una guerra mundial termonuclear.

Gracias a determinados conocimientos acerca de cómo funcionan los ecosistemas, de cómo sustentan la civilización y cuáles son las consecuencias de la pérdida de tal sostén, es posible estudiar cómo la humanidad amenaza directamente las poblaciones y especies de determinados organismos. En este contexto, han de tenerse siempre bien presentes dos puntos. El primero es que los asaltos a las especies individuales actúan también sobre los ecosistemas de los que aquéllas forman parte. El segundo es que los asaltos a los ecosistemas (como la deforestación, la conversión de praderas en tierras de labor, el represado de los ríos o la contaminación de los estuarios) amenazan a su vez, inevitablemente, a las poblaciones de organismos que componen dichos ecosistemas. Tanto si se ataca a todo un ecosistema como si se eliminan selectivamente algunos de sus componentes, el resultado es la pérdida de los servicios que en un principio proporcionaba el ecosistema.

TERCERA PARTE

¿CÓMO AMENAZA LA HUMANIDAD A LAS ESPECIES?

6. AMENAZAS DIRECTAS

Qué infame acusación, qué desgracia para la humanidad que el camino a lo que llama su civilización deba construirse sobre el recuerdo de especies extintas y especies en vías de extinción.

EL MUY HONORABLE CONDE DE JERSEY,
durante la *Conference on Breeding Endangered Species* de 1972

En 1974 y 1975 nuestro grupo pasó dos semanas visitando la Antártida en barco. Atravesamos muchas colonias de pingüinos de Adelia, de rienda y gentúes, algunas con cientos de miles de resplandecientes individuos en «traje de etiqueta» blanco y negro, la mayoría de los cuales formaban parejas que guardaban huevos o polluelos. Siempre se quedaba un miembro de la pareja al cuidado del «nido» (en general, un círculo de piedras), mientras el otro recogía *krill*, unos animales parecidos al camarón, que constituyen un eslabón fundamental de la mayoría de las cadenas alimentarias de la Antártida.

En esas colonias, la cacofonía era increíble, ya que el retorno de los pingüinos discurría entre complejas y ruidosas ceremonias de saludo con su respectiva pareja, tras lo cual regurgitaban, también ruidosamente, el contenido del buche en el pico abierto de los impacientes polluelos. Los pingüinos eran tan mansos que era posible aproximarse a pocos centímetros de ellos para fotografiar el proceso, e incluso lo bastante cerca como para obtener fotos de la lengua, que ayuda al ave a sujetar el *krill*.

Las idas y venidas de los pingüinos tenían un carácter cómico. El lento anadear vertical se interrumpe a menudo con alegres deslices —tumbados sobre el vientre— por las pendientes de nieve. Cuando una pareja se distrae con el ritual del encuentro, un pingüino vecino puede entrar a hurtadillas y robar piedras para su propio nido. La escena más tragicómica se desarrolla en la línea de costa si es que se encuentra una foca leopardo en los alrededores. Las focas leopardo son depredadores del tercer nivel en la cadena alimentaria plancton→*krill*→pingüino→foca. En presencia de este efi-

ciente y ágil carnívoro marino, los pingüinos se resistían a entrar en el agua y esperaban que fuera otro el primero en sumergirse. La situación se prolonga hasta que los individuos apiñados en último lugar empujan al agua a los que están más próximos a la orilla. En el líquido elemento, los pingüinos son magníficos nadadores, ágiles y veloces, así que la mayoría consiguen huir sanos y salvos, pero a menudo la foca alcanza a llevarse un buen bocado, desollando hábilmente al pingüino y tragándoselo con unas cuantas sacudidas de cabeza.

La observación de los pingüinos siempre resulta interesante y, con frecuencia, divertida, pero también puede tener momentos tristes. Los pingüinos adultos han vivido durante milenios sin enemigos terrestres, aunque sus huevos y polluelos sean robados a menudo por el skua, un depredador emparentado con las gaviotas. Esta ausencia de depredadores es el motivo por el que tengan tan poco miedo al ser humano, resultado de lo cual, de vez en cuando han sido terriblemente engañados. En algunas localidades se les solía masacrar para extraerles la grasa, y en algunas estaciones de la Antártida en las que se utilizan perros para tirar de los trineos era posible ser espectador de cómo unos perros encadenados atacaban y mataban los pingüinos que se ponían a su alcance. Existen asimismo espeluznantes historias sobre el comportamiento de los visitantes humanos. Unos militares norteamericanos dinamitaron parte de una colonia porque así «podían ver volar a los pingüinos», y los turistas argentinos han jugado a fútbol usando estas aves como balón.

Actualmente, los pingüinos son un recurso estético clave para la naciente industria turística de la Antártida, y a pesar de su peculiar comportamiento, por ahora no están directamente amenazados por ello. No obstante, pueden correr peligro si se llevan a cabo los actuales planes de explotación del *krill*, del que dependen los pingüinos para su sustento.

Además de la fascinación que ejercían sobre nosotros los pingüinos, las focas, las diversas aves marinas y el increíble paisaje de la Antártida, habitaba allí una especie de ballena que nos brindó una de las mayores emociones de nuestra vida. El barco navegaba lentamente rumbo al Norte, por el canal de Lemaire, entre algunas islas y la península Antártida. El cielo estaba cubierto, el mar estaba calmado y su color era negro como la tinta. De la costa pendían glaciares que enviaban destellos de un tono azul pálido, que era el único color vivo visible fuera del barco. Nosotros nos hallábamos en la mismísima punta de la proa, contemplando cómo el barco avanzaba entre capas de hielo flotante de varios pies de espesor.

De repente, el capitán se dirigió al sistema de megafonía desde el puente y gritó: «¡Orcas a la vista!» Entonces pudimos observar a un grupo de cinco o seis de esas magníficas bestias blanquinegras, de cuatro a seis metros de largo, que daban vueltas alrededor de un pequeño bloque de hielo en el que se había instalado una foca de Weddell. En el momento que pasó el barco por delante de ellas, las ballenas lanzaban repetidos ataques concertados contra el bloque de hielo, levantando grandes olas, en un intento de arrastrar la foca al mar. Al final la foca cayó, y la agitación del agua y la creciente distancia ocultaron los detalles de su muerte. Todo el mundo en el barco, biólogos y no biólogos, se quedó en un estado que cabría describir como de incredulidad excitada. Parecía inverosímil haber presenciado uno de los dramas de la naturaleza más terribles e importantes, escenificado a unos cincuenta metros de nosotros en un teatro solitario y extraño.[1]

Las ballenas también impresionaron al naturalista Robert Cushman Murphy cuando navegó por la Antártida en 1912. Según su relato, las veía «en todas las direcciones», a pesar de que ya por entonces la industria ballenera había progresado hasta el punto de que la costa próxima a la estación de las islas Georgias del Sur estaba «recubierta de huesos de ballena en un tramo de varias millas».[2] Sesenta años después, navegando por las mismas aguas, *no* fue posible ver más ballenas que las orcas, especie que no se explota comercialmente.

SOBREEXPLOTACIÓN

La historia de la caza de ballenas es un modelo clásico de especie valiosa comercialmente, amenazada de manera directa por la sobreexplotación, es decir, por la captura de tantos individuos que la población es incapaz de automantenerse. El tema es muy apropiado para abrir este capítulo, que trata de las especies y poblaciones que corren peligro debido al interés directo que poseen para el *Homo sapiens*, ya sea como recurso valioso o como plaga.

En tiempos de los barcos de madera y de los hombres de hierro, la tecnología no permitía que el ser humano constituyera una amenaza seria para las ballenas. Un viaje excepcional de tres años, a mediados del siglo pasado, no llegó a matar cien ejemplares en total. Pero en los años treinta del siglo XX, las rápidas balleneras

para capturarlas y los gigantescos buques factoría para procesarlas han incrementado enormemente la presión sobre las poblaciones de estos animales. En 1933 se sacrificaron casi 30.000 ejemplares, que rindieron 2,5 millones de barriles de aceite. En 1967 se mató el doble de ballenas, sin embargo, la producción de aceite fue sólo de 1,5 millones de barriles. La razón de este descenso fue que las especies más grandes, como la ballena azul y el rorcual común, habían sido perseguidas hasta el borde de la extinción. Así pues, la industria se orientó hacia ballenas cada vez más pequeñas, como rorcuales del norte y cachalotes (de unos dieciocho metros de largo), e incluso hacia el rorcual rostrado (con una longitud máxima de unos 9 metros).

La historia de la industria ballenera no es sólo la de la insensibilidad hacia esos extraordinarios animales, sino un ejemplo espléndido de la falta de previsión con que los economistas acostumbran a tratar los recursos.

Durante mucho tiempo, no resultaba en absoluto comprensible el comportamiento de la industria ballenera, que parecía autodestructiva y que hacía caso omiso a las advertencias de los biólogos, contratados por la *International Whaling Commission*, en el sentido de paliar la presión sobre las ballenas y permitir la recuperación de las poblaciones. En vez de eso, la tecnología de la era espacial —helicópteros para buscarlas, sonares para seguirlas, radiobalizas sobre ballenas muertas, infladas con aire comprimido— han incrementado el ritmo de exterminio.

A la industria ballenera no le interesan las ballenas en sí, sino mantener el flujo de ingresos. En términos económicos, se podría maximizar el valor del recurso ballenero, desde el punto de vista de los intereses de una compañía ballenera individual o de una nación, llevándolo a la extinción económica. Es decir, la mejor estrategia *económica* sería continuar la caza de las especies de ballenas en declive hasta que las capturas dejen de ser rentables. En ese momento, los depreciados barcos factoría y de caza podrían ser destinados a otros fines o vendidos para desguace, por lo que el capital de dicha industria se invertiría en la explotación de algún otro recurso.

Dos factores son la causa de los terribles tratos que se inflingen a las ballenas. Una es la miopía temporal del comportamiento humano, ya que el futuro nos preocupa menos cuanto más remoto es. En economía, esta actitud se recoge bajo el epígrafe de «descontar el futuro».[3] Como el futuro se descuenta, el valor de la ballena azul dentro de un siglo es nulo para la industria ballenera actual.

El segundo factor que actúa contra las ballenas es que son un recurso de «propiedad común», deseado por todos y propiedad de nadie, que queda sometido a pillaje. Garret Hardin describió el problema con su habitual destreza y claridad, en un artículo ya clásico: «*The Tragedy of the Commons*».[4] Señalaba el autor que, en los pastos comunales, abiertos a todos, cada pastor tiende a incrementar continuamente su rebaño. Esta estrategia sólo es sensata desde el punto de vista individual, ya que aunque la hierba tenga un límite, la persona con el rebaño más grande se llevará la mayor cantidad. Cada usuario del común razona de la misma manera: «si mis animales no aprovechan la hierba, lo harán los de algún otro». Todos los usuarios se esfuerzan por aumentar sus rebaños, por lo que al final se sobrepasa la capacidad de mantenimiento del pasto, se agota la hierba y el ganado pasa hambre. Cada cual ha perseguido racionalmente su propio interés, y el comportamiento de toda la comunidad ha desembocado en la tragedia del recurso comunal.

El mar ha sido tratado como un bien de común a lo largo de la historia, concretamente como un bien de común internacional en el que las operaciones de caza de ballenas y pesca en general, de todas las naciones, competían libremente; y en aguas territoriales, un bien de común nacional en el que operaban diversos pescadores o corporaciones. En los años setenta, muchas naciones, entre ellas Estados Unidos, ampliaron su jurisdicción nacional sobre el océano a doscientas millas de la costa. De este modo, al asumir los países individuales la responsabilidad de los recursos biológicos marinos próximos a sus costas, podía haberse evitado la tragedia del bien de común. Sin embargo, en todas partes persisten las presiones que estimulan la sobreexplotación. El pescador sabe que el pez o la ballena no capturados no llegarán necesariamente a reproducirse sino que, por el contrario, los cogerá otro pescador. En consecuencia, cada pescador (o barco o nación) trata de maximizar sus capturas.

La industria pesquera se ha desarrollado, desde el punto de vista tecnológico, a la par que la ballenera. Los barcos factoría, el sonar, los nuevos tipos de red y otras mejoras tecnológicas han aumentado en gran medida la capacidad de captura de los pescadores comerciales. En los años sesenta, un solo buque factoría rumano moderno capturó, en un día, más toneladas de pescado en agua neozelandesas que toda la flota pesquera de Nueva Zelanda, compuesta por 1.500 barcos. La industria se enorgullece de su habilidad creciente para saquear las proteínas existentes en el mar. La *Simrad Echo*, revista publicada por un fabricante noruego de equi-

pos de sonar para pescadores, se jactaba, en 1966, de que 300 barcos noruegos e islandeses equipados con sonar habían llevado la pesca industrializada a las islas Shetland. Estos barcos obtenían enormes redadas de arenque empleando artes de cerco, con las que capturaban peces más pequeños que con las traíñas que usaban los pescadores británicos.

Un editorial del *Simrad Echo* se preguntaba: «¿Practicará la industria pesquera británica... la pesca con artes de cerco como medio para invertir el declive de las capturas de arenque?» La actitud de la industria se refleja en otra cita de la revista: «¿Qué harán las Shetland en un futuro inmediato? ¿Recogerán y *acumularán la bonanza mientras las cosas funcionen* o continuarán con las traíñas si resulta que las artes de cerco tienen un efecto adverso sobre las poblaciones de arenque y eso ocasiona una disminución de las capturas?

La respuesta no tardó en llegar. En enero de 1969, un periódico británico declaraba que se había hundido la última industria costera del arenque inglesa. Los arenques jóvenes, que atravesaban la amplia malla de las traíñas británicas, quedaban retenidos en las artes de cerco, con lo que se destruía la población reproductora potencial del arenque. Entre 1966 y 1970, las capturas de arenque descendieron de 1,7 millones de toneladas a sólo 20.000, una reducción a casi la centésima parte.[5]

Las pesquerías destruidas no son únicamente las de las grandes ballenas y las del arenque. Una de las más conocidas era la pesquería de sardinas de California, agotada por exceso de pesca. En la temporada 1936-37, se extrajeron de las aguas californianas tres cuartos de millón de toneladas de este pescado. En la temporada de 1957-58, sólo veintiún años después, la captura fue de diecisiete toneladas. De este modo, la pesquería ya no se recuperó y su mausoleo es Cannery Row, en Monterey, convertido hace ya tiempo en un lugar turístico.

Cuando un organismo marino sometido a explotación llega a la extinción económica, es decir, llega a un punto en el que su recolección ya no resulta rentable, en realidad la especie no se ha extinguido todavía, sino que, probablemente sobrevivan algunas poblaciones. De hecho, uno de los problemas a la hora de diseñar estrategias de captura para que la producción sea sostenible es la insuficiente información que existe sobre el número de poblaciones en explotación. Por ejemplo, la pesquería de la anchoveta peruana produjo, en 1970, trece millones de toneladas, casi la cuarta parte

de la recolección de peces marinos de todo el mundo. En 1971, la combinación de unas condiciones meteorológicas desfavorables y la sobrepesca fue la causa de que las capturas disminuyeran a casi un tercio de ese valor. Desde entonces, y a pesar de las restricciones crecientes a la captura, la recuperación sólo ha sido parcial. El problema clave a la hora de decidir una estrategia racional para la captura de la anchoveta es que no está claro si los peruanos explotan una, dos o más poblaciones independientes.

Existen también factores económicos que contribuyen a fomentar la extinción de las reservas piscícolas, ya bastante mermadas. Cuando una determinada especie de pez empieza a escasear, su precio se dispara. Cuanto más elevado es, mayores son los incentivos para que los pescadores comerciales lo capturen. Así pues, la presión sobre esas reservas continuará, lo cual puede conducir, y en algunos casos ha conducido, a la extinción económica.[6]

Junto a las futuras pautas de explotación o protección, otros muchos factores determinarán si las diversas especies marinas sobreexplotadas podrán reaparecer o continuarán poco a poco por el camino de la extinción. Las poblaciones más pequeñas, claro está, son estadísticamente más vulnerables a la extinción. En algunos casos, la sola disminución del tamaño de la población puede producir un cambio en las relaciones de la especie recolectada con un competidor importante, lo cual puede llevar a la extinción eventual de la población.[7] Un cambio de esta índole es la causa que los biólogos creen que puede explicar la fallida recuperación de la sardina de California, una vez se vino abajo la pesquería. El aumento de su principal competidor, el boquerón, puede haber combinado de modo sustancial el medio ambiente de la sardina.[8]

El reto ambiental más importante para las especies marinas sobreexplotadas será el deterioro del medio ambiente marino en general. Interesa señalar que la riqueza biológica del mar tiende a concentrarse en aguas poco profundas, cercanas a tierra. Ahí es donde se localizan las poderosas corrientes de afloramiento, que llevan nutrientes a la superficie, donde sirven de alimento al fitoplancton, esas diminutas plantas flotantes que son la base de las cadenas alimentarias oceánicas.

En cambio, como dice J. H. Ryther: «El mar abierto —el 90 % del océano y casi las tres cuartas partes de la superficie de la Tierra— es, en esencia, un desierto biológico. Produce una fracción despreciable de las actuales capturas mundiales de pescado, y su rendimiento no será mejor en el futuro.»[9]

Como consecuencia de esta distribución de la productividad, las poblaciones marinas explotadas se localizan precisamente en las áreas más proclives a la contaminación. La mayoría de los contaminantes son arrojados al mar cerca de la costa, y por eso su concentración es allí más elevada. Además, muchos de los peces y camarones que se pescan en los mares, pasan la mayor parte de su vida en estuarios —lugares donde desembocan los ríos y torrentes, y donde se mezclan las aguas dulces con las saladas. Es relevante el hecho de que casi dos tercios de la productividad de las ricas pesquerías frente a la costa este de Estados Unidos dependa de estos amenazados hábitats.[10] Los estuarios se encuentran entre los hábitats más amenazados de la Tierra debido a contaminación, colmatación, «mejora» y «desarrollo». Así pues, muchas especies marinas amenazadas directamente por la sobreexplotación pueden dar los últimos pasos hacia la extinción, porque sus escasas y menguadas poblaciones son muy vulnerables a los asaltos indirectos de la degradación y la destrucción de hábitats.

AMENAZAS DIRECTAS DE LAS SOCIEDADES PREINDUSTRIALES

Es de esperar que una especie con gran éxito evolutivo tenga impactos negativos sobre otras especies. El propio Darwin apuntaba que «... como la selección natural actúa solamente para preservar las modificaciones provechosas, cada nueva forma tenderá, en un territorio bien abastecido, a desplazar y, en último término a exterminar a sus propios parientes menos aptos o a otras formas menos favorecidas con las que compite. Esta extinción y selección natural ... irán de la mano.»[11]

Sin embargo, en seguida surgieron indicios de que el *Homo sapiens* llevaría este proceso natural hasta el límite. Por ejemplo, al final del Pleistoceno, hace unos 12.000 años, dos tercios más o menos de las especies de grandes mamíferos de Norteamérica se extinguieron en poco tiempo. Entre ellos se encontraban varias especies de mamuts, parecidos a elefantes, un pariente alto del dromedario, perezosos gigantes y tigres de dientes de sable. Extinciones similares se produjeron por todo el planeta, más o menos al mismo tiempo. Como escribía Alfred Russel Wallace, coautor con Darwin de la teoría de la evolución, en 1875: «Es evidente... que ahora atravesamos un período muy excepcional de la historia de la Tierra. Vivimos en un mundo zoológicamente pobre, del que no hace tanto tiempo han desaparecido las formas más raras, más feroces, más descomunales... No obstante, lo más maravilloso del caso, y sobre lo que apenas se ha insistido, es que esa desaparición no se produjo sólo en un lugar, sino en media superficie del globo.»[12]

Las fechas de esas extinciones coinciden aproximadamente con la llegada del primer *Homo sapiens* al hemisferio occidental. Este hecho unido a las pautas de extinción menos definidas, asociadas con la expansión de los pueblos prehistóricos y la mejora de las técnicas de caza humanas (como se puede observar, por ejemplo, en la evolución de las puntas de flecha de piedra), ha llevado a la teoría de la sobreextinción del Pleistoceno. La idea es que la actual pobreza relativa de la megalofauna terrestre (animales que pesan más de cincuenta kilos) se debe, sobre todo, a la sobreexplotación de los grandes animales, relativamente mal defendidos, por parte de un número creciente de cazadores más diestros. Wallace, que al principio creía que las extinciones fueron debidas a las glaciaciones de la edad del hielo, reconoció más tarde que muchos grandes animales sobrevivieron a los hielos para sucumbir poco después. Hacia 1911, aceptaba que el *Homo sapiens* fue el principal agente exterminador cuando escribía: «Lo que buscamos es una causa que ha actuado en toda la Tierra durante el período en cuestión y que bastó para producir los resultados observados. Cuando el problema se plantea de este modo, la respuesta es muy evidente ... la rapidez de la extinción de mamíferos tan enormes se debe, en realidad, a la mediación del ser humano....»[13]

Esta respuesta «evidente» constituye aún objeto de polémica, pero existen diversas líneas de evidencia, hábilmente establecidas por los modernos paleontólogos y, en particular, por Paul S. Martin, que plantean de forma muy probable que la extinción fuera iniciada por el ser humano. A este respecto, el ritmo de las extinciones en Norteamérica es muy significativo. Hacía más de un millón de años que el Viejo Mundo estaba ocupado por el *Homo erectus*, un antepasado primitivo del *Homo sapiens* que desarrolló progresivamente un gran cerebro y armas eficaces que le permitieron ser un hábil cazador. En cambio, los primeros grupos humanos que invadieron, en fecha más cercana el hemisferio occidental a través del estrecho de Bering, eran de *Homo sapiens*, un cazador muy eficiente y capaz. Estos grupos se propagaron hacia el Este y hacia el Sur a un ritmo que coincide en el tiempo con las extinciones de los grandes animales del Nuevo Mundo.[14]

En otras partes del mundo, las islas ocupadas por grupos humanos perdieron rápidamente los grandes animales que en ellas vivían. El *Homo sapiens* alcanzó Nueva Zelanda y Madagascar hace unos mil años. En Nueva Zelanda no existían mamíferos terrestres y la evolución de las aves se había disparado. Una impresionante colección de gigantescos moas no voladores aguardaba la llegada de los invasores humanos, entre ellos el espectacular *Dinornis*, de tres metros de alto, parecido a un avestruz gigante. El ser humano empezó rápidamente a darlos caza, por lo que provocó su extinción al cabo de un centenares de años, dejando tras de sí los huesos rotos y quemados en sus campamentos de caza. Sin embargo, no es probable que la causa de la rápida desaparición de los moas fuera sólo debido a la caza. Las ratas y los perros que acompañaban a los maoríes, atacaban, sin duda polluelos de esas aves, que habían evolucionado en ausencia de mamíferos depredadores.

En Madagascar, la megafauna, incluidos un ave gigante no voladora y un hipopótamo enano, desapareció en seguida tras la ocupación de la isla. Ni en Nueva Zelanda ni en Madagascar existen indicios del menor cambio climático, o de otra índole, que pudiera servir de explicación lógica a las extinciones. En ambos casos, el vínculo con la ocupación humana es demasiado estrecho como para resultar mera coincidencia.

Hace unos pocos centenares de años, la combinación de explotación directa y depredación de los mamíferos introducida por el *Homo sapiens*, junto con la destrucción de algunos hábitats, puso fin a la gran ave no voladora que dominó la isla Mauricio y el océano Índico durante millones de años. Este ave, cuyo nombre proviene de una palabra holandesa que describe su comportamiento perezoso, se ha convertido en símbolo de todo lo que desaparece irremisiblemente mediante la expresión «muerto como un dodó».

Extinciones prehistóricas en Eurasia

La presión que los cazadores ejercieron sobre las poblaciones de grandes animales empezó muy pronto. Sin duda alguna, al final de las glaciaciones, hace diez mil años o más, los cazadores humanos eran capaces de matar en gran número animales grandes. El mundo está lleno de «depósitos de huesos» del Pleistoceno, por ejemplo, en un barranco cercano a Amvrosievka, en el Sur de Ucrania, Rusia, los restos indican que allí fueron abastecidos casi

mil bisontes con fisgas provistas de punta de pedernal o hueso.

En la Edad Media se creía que, en los alrededores de Predmost, Checoslovaquia, había vivido un pueblo de gigantes, ya que periódicamente aparecían allí huesos de «gigante». A mediados del siglo pasado, un agricultor local, Josef Chromecek, descubrió un verdadero cementerio de gigantes extrayendo caliza de su finca, que en realidad consistía en extensos depósitos de huesos de un tamaño enorme, mezclados con dientes asimismo muy grandes. A pesar de que los huesos se extraían para usarlos como fertilizantes en los campos de la región, y aunque se enviaban en vagones para emplearlos como balastro en la construcción del ferrocarril Prerov-Leipnik, el depósito no llamó la atención de la comunidad científica hasta 1880.

Los científicos que realizaron la investigación encontraron una capa oscura, de unos setenta y cinco centímetros de espesor, en el suelo gris amarillento, de grano fino, depositado por el viento. El color oscuro se debía a las cenizas de innumerables fogatas antiguas. Las cenizas estaban mezcladas con muchos artefactos tallados en pedernal, de la cultura auriñacense, y un número increíble de huesos de uro (progenitor extinto de la vaca doméstica), toro almizclado, bisonte, reno y, sobre todo, mamut lanudo. Los huesos de mamut constituían las tres cuartas partes del depósito, y muchos eran de animales jóvenes.

El descubrimiento causó sensación en el mundo científico y se pudo interpretar fácilmente. Ahí se encontraba un campamento de caza, de una cultura del último período de acumulación de una formación geológica de origen eólico, un período que se remonta a veinte mil años atrás, y cuando los enormes glaciares de la última glaciación, que habían cubierto buena parte del Norte de Europa empezaban a retirarse a causa de las condiciones más templadas imperantes. He aquí una prueba fehaciente de que los habitantes de la edad del hielo no eran los «pobres salvajes» que imaginaban los hombes del siglo XIX, sino unos cazadores valientes, hábiles, bien equipados y bien organizados. No sólo eran capaces de cazar gigantescos elefantes lanudos, con gran eficacia, sino que podían hacer de ellos el principal artículo de su dieta.[15]

El hecho de que el mamut era en general muy importante para los cazadores de la edad del hielo está atestiguado no sólo por los numerosos y grandes depósitos de huesos que se han encontrado en Europa central, sino también debido a la frecuencia con que aparecen representados en las cuevas del Paleolítico, la Edad de

Piedra. Es muy probable que la presión creciente que los cazadores humanos ejercieron sobre las manadas de mamuts, en especial por la matanza de jóvenes, fuera un factor importante —cuando no el principal— en el inicio de la extinción de esos enormes paquidermos. No obstante, ciertos indicios apuntan a que la extinción final del mamut, lo mismo que la del rinoceronte lanudo, tuvo lugar, en sus postreros reductos siberianos, sin la intervención humana.[16] De ello debieron de encargarse los cambios climáticos, además del engrosamiento de la cubierta nivosa. En esas regiones existen depósitos de huesos, que no muestran huellas de armas, no están machacados para la extracción de la medula, ni tampoco presentan las señales de fuego que son características de los enclaves de caza del *Homo sapiens*.

Existen científicos que defienden que la expansión de las poblaciones humanas no fue un factor primordial en las extinciones del Pleistoceno. Algunos sostienen que el ritmo y la amplitud de cambio climático que tuvo lugar por aquel entonces, no tenía precedentes, y que los grandes herbívoros, así como sus depredadores, no pudieron mantener poblaciones suficientemente grandes en las bolsas de hábitats que restaban disponibles por lo que, en consecuencia, perecieron.[17] Otros señalan que se produjo una extraordinaria explosión evolutiva de diferenes tipos de mamíferos a principios del Pleistoceno y consideraban las extinciones de finales de ese período como una sacudida inevitable, consecuencia de la competencia de una fauna superdiversificada. Según esta interpretación, el punto más importante es la alta tasa de evolución divergente en los albores del período, no las extinciones posteriores, que se atribuyen a la competencia entre demasiadas clases distintas de grandes animales por unos recursos inadecuados.[18]

Valoración de la acción humana

De todos modos, todas estas explicaciones no se excluyen mutuamente. Quienes están familiarizados con los pueblos de cazadores que han llegado hasta nuestros días, no pueden evitar la sorpresa ante dos hechos. El primero es la habilidad para cazar grandes herbívoros terrestres, cuando aún existían, ya que las técnicas parecen ser muy antiguas y estar muy extendidas. Por ejemplo, cuando en 1952 Paul estuvo viviendo y cazando con los esquimales aivilingmiut que habitan el norte de la bahía de Hudson, sus compañeros le describieron el empleo de *inukshuks* en la caza del caribú.

Los inukshuks son pilas de piedras erigidas de modo que proyecten la imagen de cazadores de pie. La palabra proviene de la misma raíz que *inuk* (un esquimal) y que *inuit* (la gente), que es el modo en que los esquimales se denominan a sí mismos. Se construye una gran V de inukshuks con el vértice en la orilla de un lago o en un acantilado, y a continuación, los cazadores tratarán de conducir los caribúes a la boca de la V. Una vez ahí, los animales se precipitarán hacia su perdición por el embudo de piedras, a los que tomarán por personas, sobre todo porque las mujeres y los niños se agazapan detrás de algunas pilas, agitando los brazos y gritando. Los animales se despeñarán o caerán al agua, donde serán rematados desde kayacs. Los inukshuks ayudan a los esquimales a compensar su baja densidad demográfica y la correspondiente falta de manos para organizar este tipo de redadas de animales a gran escala.

Es de suponer que los cazadores del Pleistoceno utilizaban técnicas similares. Por ejemplo, en Crimea existen depósitos de huesos que indican que los cazadores primitivos aprovechaban acantilados de varias decenas de metros para conducir a la muerte a manadas de asnos salvajes.

La segunda característica de los pueblos cazadores, al menos si se toma a los esquimales como guía, es la falta de una ética de la conservación.[19] Los esquimales explicaban la disponibilidad errática de la caza en términos religiosos. Unos años los espíritus estaban satisfechos y la caza era abundante, mientras que otros, se sentían descontentos y la caza escaseaba. Las almas de los caribúes, osos polares y focas tenían una importancia especial para los esquimales y debían ser apaciguadas mediante la observación de los oportunos tabúes de muerte. Por ejemplo, una foca recién cazada nunca debía ser depositada sobre el suelo de un iglú sucio —ya que el alma del animal podría ofenderse por yacer en una superficie sobre la que ha caminado una mujer. Por tanto, se traía nieve limpia para poder tender encima la foca muerta.[20] De igual manera estaba prohibido raspar la piel de un caribú mientras se practicaba la caza de estos animales, por que se podría herir el alma del caribú y dificultar la captura de otro.

Así pues, la observación o infracción de los tabúes era, a ojos de un esquimal, el factor principal del éxito del grupo cuyo rito más esencial era la caza. Por lo tanto, para asegurar la provisión de caza no se tenía que tratar como es debido a la población de animales,

sino que, simplemente, se debía tratar bien al animal individual y a su alma. Semejante visión del mundo resultaba idónea para el cazador y el cazado, siempre que ningún cambio ambiental hiciera más vulnerable a los animales, o algún cambio tecnológico no hiciera más mortífero al cazador.

En la década de los años cincuenta, se produjo un cambio tecnológico de esta índole en el mundo de los aivilingmiuts. La fuente de sustento más valiosa para este «pueblo de la morsa» la constituían, en realidad, varias especies de foca. Se cazaban morsas para alimento de los perros de los trineos, y se usaban sus resistentes pieles para fabricar arneses. Pero la carne de las focas común y barbuda era más sabrosa, y con su piel se fabricaban botas suaves, flexibles y cómodas.

El método clásico de cazar focas, una vez se había fundido el hielo en primavera, consistía en arponearlas desde canoas de pieles. Así que, en los años cuarenta, el esquimal se dedicó a cazar zorros árticos con trampas, dada la alta demanda de su blanca piel, lo que les proporcionó un pequeño capital que gastaron, entre otras cosas, en rifles y barcos a motor. Esto cambió todo el esquema de la caza de la foca. Los esquimales disparaban al azar contra las focas desde la cubierta de sus barcos, tratando de herirlas, para luego aproximarse con el barco y rematar a arponazos los animales heridos.

La técnica era mucho menos penosa que el método tradicional, pero tenía un efecto secundario poco afortunado. Durante la primavera, flota en la superficie del océano una capa de agua dulce procedente de la fusión de la nieve y el hielo. En otras aguas menos densas, las focas que mueren por los disparos se hunden, y no pueden ser recobradas, mientras que con el antiguo sistema, prácticamente toda foca muerta se convertía en provisión de carne para la despensa del esquimal. En 1952, tras el advenimiento del rifle, se calculó que se perdían diecinueve piezas de cada veinte. No es de extrañar, pues, que el resultado fuera una brusca disminución de las poblaciones de focas.[21]

Por lo tanto, parece razonable concluir que los cazadores del Pleistoceno debieron de ejercer una considerable presión de caza sobre las poblaciones de grandes mamíferos, y no es probable que se vieran coartados por ideas conservacionistas. Al igual que los esquimales, debían de cazar mientras la caza era buena, y, como éstos guardarían los excedentes para las épocas de escasez. Si las condiciones climáticas redujeron también el tamaño de las manadas, la situación debió ser dura para los cazadores.

Si la fauna está «superdiversificada», no existe ningún punto en el código de leyes evolutivas que diga que una especie no puede ser una de las causas principales de su rápida simplificación. En el norte de América sobre todo, donde el *Homo sapiens* apareció de repente cuando ya era valeroso, inteligente y estaba bien armado, muchos grandes animales dispusieron de muy poco tiempo para adaptarse, mediante cambio evolutivo o de comportamiento, a la presencia de un nuevo depredador, inexorable y mortífero.

No obstante, conviene situar las actividades de los pueblos prehistóricos en la debida perspectiva. Fuera cual fuera el papel exacto del ser humano en las extinciones de mamíferos del Pleistoceno, éstas fueron relativamente menores en comparación con las extinciones de todo tipo de flora y fauna que se producen actualmente a consecuencia de la destrucción de los hábitats por parte del ser humano civilizado. La caza y la recolección es, en gran medida, el modo de vida más próspero, duradero (al menos 50.000 años) y menos destructivo que ha desarrollado el *Homo sapiens*, y ha constituido el modo de vida del 90 % de todos los seres humanos que han llegado a existir.[22]

Según escribieron, en 1968, los antropólogos Richard B. Lee e Irwin DeVore, esa evaluación no excluía «la precaria existencia actual bajo la amenaza de la destrucción nuclear y la explosión demográfica».

> Todavía es una pregunta sin respuesta si el ser humano será capaz de sobrevivir en las condiciones ecológicas exageradamente complejas e inestables que ha creado para sí. Si fracasa, los arqueólogos interplanetarios del futuro clasificarán nuestro planeta como uno en el que a un larguísimo período estable de recolección y caza a pequeña escala, siguió un florecimiento, aparentemente instantáneo, de la tecnología y la sociedad que condujo a una rápida extinción. «Estratigráficamente», el origen de la agricultura y la destrucción termonuclear aparecerán casi de forma simultánea.[23]

Extinciones recientes

Las extinciones históricas de especies explotadas parecen haber seguido una pauta cuando menos semejante a la seguida por las prehistóricas. La caza ha jugado un papel importante en la reduc-

ción numérica de determinadas especies, así como el cambio ambiental, pero el empujón final ha sido impuesto por la reducción, en cierto modo, de la capacidad de adaptación de las especies. La complejidad que puede caracterizar los caminos que llevan a la extinción, queda muy bien ilustrada en la más famosa de todas las extinciones históricas que se han producido, la de la paloma migratoria de Norteamérica.

La paloma migratoria fue una criatura fascinante, una paloma elegante, bonita, con un dorso de color azul pizarra y el pecho rosa profundo; no arrullaba como las otras palomas, sino que emitía «chillidos, gorjeos y cloqueos».[24] Lo que justificaba su fama era el tamaño gigantesco de sus poblaciones, y probablemente haya sido el ave más abundante de cuantas han existido. Audubon observó una bandada de palomas migratorias que tardó tres días en pasar, en ocasiones, según sus cálculos a un ritmo de más de 300 millones de aves por hora. El paso de las grandes bandadas producía un zumbido que podía oírse a diez kilómetros de distancia.[25] Alexander Wilson, fundador con Audubon de la ornitología americana, estimó en 2 mil millones las aves de otra bandada. Las palomas anidaban en colonias largas y estrechas que podían medir sesenta kilómetros de largo y varios de ancho. Los excrementos se amontonaban en sus posaderos preferidos, en capas de varias pulgadas de espesor que producían la muerte de todas las hierbas, arbustos y, con el tiempo, de los propios árboles de los alrededores.

Las aves se distribuían por todo el este norteamericano, donde se alimentaban de frutos de árboles silvestres, especialmente de bellotas y hayucos. No se conocen a ciencia cierta las razones de su comportamiento gregario. Quizá les ayudara a encontrar alimento; aunque también podría ser una defensa contra los depredadores.

Los primitivos colonos estadounidenses no repararon en añadir la paloma migratoria a su dieta. Las zonas de nidificación estaban tan pobladas que los adultos acababan siempre heridos o muertos, y los suculentos pichones arrojados de los nidos. Para recoger la cena, todo lo que había que hacer es darse una vuelta por la colonia. No obstante, a medida que crecía la población humana, las cosas cambiaron. Los ferrocarriles atravesaron regiones vírgenes, abriendo camino a los cazadores comerciales que expedían las aves a centros como Nueva York; y los grandes bosques de robles y hayas donde anidaban las aves, empezaron a ser clareados.

Los cazadores comerciales idearon maneras muy ingeniosas de matar un gran número de aves. Ahogaban las palomas quemando hierbas o azufre debajo de los posaderos; las emborrachaban con granos empapados en alcohol, e incluso las abatían con varas largas, a tiros o con redes (en cuyo caso les aplastaban la cabeza con unas tenazas). Una trampa ingeniosa consistía en un señuelo en forma de paloma con los ojos cerrados, atado a una percha llamada taburete.

La rapidez con que disminuyó el número de palomas fue sorprendente. Después de la Guerra Civil, se expedieron tantos millones de aves del Medio Oeste a Nueva York que se usaban pájaros vivos como blanco en las casetas de tiro. No obstante, las enormes bandadas habían desaparecido para entonces de los estados costeros, y hacia 1880 su número había menguado en todas partes. En 1878, un cazador expidió unos tres millones de aves desde Michigan, el último baluarte de la paloma migratoria. El último pájaro salvaje fue visto en ese estado justo once años después, y el último cautivo murió en el zoo de Cincinnati en 1914.[26] Se llamaba Martha.

La extinción económica precedió a la biológica. Las últimas aves silvestres no las mataron los cazadores, pues dejaron de ser rentables en cuanto desaparecieron las grandes bandadas. Al parecer, la capacidad de formar enormes bandadas era esencial para la supervivencia de las palomas, así que cuando las poblaciones disminuyeron tanto que no bastaban para mantener las grandes colonias de reproducción, los fracasos en la nidificación, la endogamia y la mortalidad debida a los depredadores debieron de agravarse y la especie se vio abocada a la extinción.[27]

El destino de la paloma migratoria ilustra con toda claridad que un número muy elevado de individuos no garantiza la seguridad de una especie. En ciertas condiciones, las especies pueden pasar de la superabundancia a la extinción, a una velocidad sorprendente. Otro ejemplo es el destino del bisonte americano (mal llamado búfalo). Las poblaciones que habitan en el este de Norteamérica, a veces consideradas una raza aparte, fueron cazadas hasta la extinción a comienzos de los años treinta del siglo XIX, y la raza de Oregón, concretamente, hasta mediados de siglo. El bisonte americano del norte todavía vive, en número relativamente elevado, en los bosques de Alberta y en los territorios del noroeste del Canadá.

Las poblaciones de bisontes en las praderas eran más numerosas de lo que se cree. Su enorme número, estimado en 30 ó 40 millones de individuos, ennegrecía las llanuras. He aquí una prueba evidente de que al menos parte de la megafauna puede prosperar

en presencia de cazadores expertos. Los americanos nativos se sirvieron poco del bisonte hasta que obtuvieron caballos de los españoles. Una vez dispusieron de monturas, algunas tribus basaron sus economías en la explotación de esas lanudas bestias, comiendo su carne y empleando de diversos modos los cueros. Pero este hecho no produjo mella apreciable en la población de bisontes ya que, en apariencia, el número que se obtenía cada año era menor que la producción anual.[28]

La llegada de colonos procedentes de Europa, y en especial la del ferrocarril hacia 1860, señaló el inicio del exterminio de los grandes bisontes. Los cazadores mataban los animales por su piel y su lengua fundamentalmente, y dejaban pudrir el resto. Después, otros recogían los huesos limpios que blanqueaban las llanuras, y los enviaban al este para usarlos como fertilizante. Entre 1870 y 1875, quizá murieron 2,5 millones de bisontes al año a manos de los cazadores blancos, y en 1883 fue exterminada la última manada significativa, que debía de contar con unas 10.000 cabezas. Al iniciarse el siglo XX sólo quedaban 500 bisontes de las praderas que, finalmente, se encontraban bajo protección legal.

El bisonte tuvo más suerte que la paloma migratoria. Hoy deben de haber en Norteamérica unos 25.000, repartidos en parques y en manadas privadas, pero lo que no es posible encontrar son bisontes de las praderas «salvajes». Un ganadero californiano ha obtenido, un híbrido fértil de bisonte y vaca. El híbrido, que se conoce como *beéfalo*, es, según se ha informado, muy sabroso, más magro y más productivo que la vaca, además es más fácil de criar que el vacuno, crece deprisa y no requiere grano para ser alimentado. En el mejor de los casos, si se acepta, el beéfalo podría abaratar la carne y hacerla menos grasa, más saludable; y como mínimo, aportaría variedad a la dieta humana.[29]

AMENAZAS A LA ALIMENTACIÓN ACTUAL

El ser humano continúa cazando especies de animales salvajes en el campo para alimentarse, y sigue pescando ballenas y peces en el mar. Los cazadores de ciervos de Pensilvania, los bosquimanos que acechan gacelas en Namibia, o la poblaciones del oeste de China que cazan salamandras del padre David, son sólo simples seguidores de una antigua tradición humana. En general, a escala mundial, el nivel de depredación por caza humana es muy bajo y apenas si influye en las poblaciones depredadoras. Pero en algunos casos, por ejemplo si la presa es rara (como la salamandra) o el cazador está dispuesto a exterminar, las poblaciones y las especies desaparecen.

A veces, la vida silvestre sufre sobreexplotación como resultado de circunstancias políticas y económicas inusuales. A comienzos de 1979, se produjo en Uganda un incidente grave y a la vez grotesco, cuando las tropas diezmaron la fauna silvestre en lo que había sido una de las reservas de caza más ricas de África, el parque nacional Ruwenzori. Tropas fuera del control de sus superiores se entregaron a la matanza de la fauna, cuya carne fue adquirida por comerciantes ugandeses. El biólogo norteamericano Karl Van Orsdal fue testigo ocular de las masacres en el lago Edward: «Dos soldados tanzanos permanecían de pie, riendo, mientras que un tercero, tirado en el suelo, disparaba rápidas ráfagas contra un gran grupo de hipopótamos fuera del agua ... siete u ocho civiles ugandeses carneaban un hipopótamo muerto, con hachas y machetes, a unas decenas de metros de la orilla».[30]

Se podía ganar mucho dinero. Un hipopótamo muerto puede producir hasta 800 kilos de carne a más de dos dólares por kilo. Al cabo de tres meses y medio, cuando Van Orsdal se marchó, calculaba que se había dado muerte al 30 % de los grandes animales del parque, concretamente 46.500 individuos, entre ellos 6.000 hipopótamos, 5.000 cobos de Uganda, 2.000 búfalos, 400 topis, 100 elefantes y 70 leones. Si no existieran más matanzas en lo sucesivo, lo más probable es que la mayoría de las especies se recuperara, excepto quizás el cobo.

Los acontecimientos que sucedieron al establecimiento de la República Islámica en Irán no fueron muy diferentes de los de Uganda, ya que la fauna ha sido exterminada indiscriminadamente. Furtivos en motocicleta ametralleaban las gacelas, en otro tiempo protegidas, y en el mar Caspio, el esturión fue dinamitado. Se clarearon miles de hectáreas de bosque de madera dura para convertirlas en pastos o terrenos de labor. Muchos animales que habían recibido cuidadosa protección durante el régimen del sha, ahora son tan mansas que resultan presa fácil para cazadores con armas automáticas. Algunos de los mamíferos más amenazados del mundo —entre ellos el tigre del Caspio, el asno salvaje y el gamo de Mesopotamia— corren hoy día un peligro aún mayor.[31]

Esas matanzas no están restringidas a las naciones en desarrollo con revueltas. En la sociedad de la Unión Soviética, estrictamente

controlada, el suministro de carne es tan deficiente que la fauna se ha visto acosada hasta un punto nunca visto. En la primavera de 1976, después de haber anillado trescientos patos jóvenes en un lago de Siberia, los ornitólogos responsables recibieron de vuelta las trescientas anillas, ya que los cazadores habían abatido todas las aves. En las reservas soviéticas, la caza furtiva aumenta cada día más, por ejemplo, los animales de la reserva de Kyzyl-Agach, en el mar Caspio, han sufrido los asaltos periódicos de grupos de oficiales del ejército que operan desde helicópteros, vehículos todo terreno e incluso tanques. Aunque cueste creerlo, una división soviética estacionada cerca del lago Baikal durante años, ha estado usando misiles de rastreo térmico para cazar ciervos.[32]

Quizá la caza más repugnante y despiadada que se haya practicado recientemente en nuestro planeta no sea la llevada a cabo en las regiones salvajes de África o en las estepas rusas, sino en Australia. Hace mucho tiempo que los ganaderos australianos cazan todos los canguros posibles, porque compiten con sus ovejas por la hierba. Ya en 1863, el gran naturalista y pintor John Gould temía que el canguro rojo y algunas otras «preciosas especies» de marsupiales fueran exterminadas por los ganaderos.[33] No obstante, se equivocaba, ya que el canguro rojo siguió siendo abundante en las áreas más secas, donde las ovejas no podían prosperar.

A finales de los años cincuenta, se descubrió un mercado para la carne de canguro como alimento de animales de compañía, embutidos de clase inferior y sopa de rabo de canguro. El resultado fue la caza indiscriminada del canguro. La técnica clásica consistía en «deslumbrarlos» con los faros de un automóvil por la noche; los canguros quedaban inmovilizados por la luz y se les disparaba con rifle. Algunos morían de inmediato, pero había cazadores que, deliberadamente, sólo les herían, dejándolos a veces sufrir durante horas o días para que la carne se mantuviera fresca hasta el momento de la entrega. Las cacerías nocturnas se consideraban «acontecimientos deportivos», a pesar de que los cazadores no tenían que mostrar ningún valor ni ninguna habilidad especial. En 1980 se puso de moda otro método de caza, en este caso en motocicleta, una persona controlaba la dirección y la otra disparaba sobre los animales en fuga.

Desde que se fundó el país, se han sacrificado en Australia cerca de un millón de canguros por año. Las matanzas continúan hoy día, aunque, por suerte, los grandes canguros que se cazan, por lo visto no tienden a extinguirse. Por el contrario, algunas de las especies más pequeñas sucumben a la destrucción de sus propios hábitats.

Los cazadores de canguros han dado mil y una excusas por ello, sobre todo los ganaderos, y las han relacionado con sus errónea interpretación del impacto del canguro en zonas que ellos mismos han arruinado con el sobrepastoreo de ovejas. Pero una vez más, la razón principal de este exterminio es una mezcla de avaricia y falta de compasión. Los conservacionistas australianos temen que, como Estados Unidos ha levantado la prohibición que pesaba sobre la importación de artículos fabricados con piel de canguro, se recrudezcan las masacres y empiecen a peligrar las poblaciones de canguros.[34]

Las matanzas de las faunas ugandesa, iraní, rusa y australiana son ejemplos claros y extremos de caza contemporánea no controlada. Quizás el aspecto más terrible de esos y otros episodios similares, como las carnicerías anuales de crías de foca en Canadá, que actualmente están controladas, es que demuestran la poca compasión que existe por los animales en la mayoría de las poblaciones humanas. El ser humano puede matar por necesidad económica o por deporte, pero cada muerte, de uno u otro tipo, puede venir acompañada de cierta simpatía por los animales muertos. En realidad, los cazadores y pescadores suelen ser, a la vez, ardientes conservacionistas, algo que han de reconocer por fuerza incluso quienes encuentran la caza moralmente reprobable. Sin embargo, es evidente que muchos seres humanos aún pueden exterminar especies sin remordimiento alguno.

EL COMERCIO DE FAUNA

Hay muchas especies que reciben el ataque directo de la humanidad por razones ajenas a la provisión de alimentos. De hecho, la presión hacia la extinción de esas especies continúa —y en muchos casos incluso aumenta—, a pesar del mayor conocimiento público de las especies en peligro y a pesar de la proliferación de leyes protectoras, sobre todo en los países desarrollados. El comercio internacional de fauna, por ejemplo, alcanza cotas insospechadas. Sólo para la investigación científica y médica, se recolectan y se envían a todo el mundo enormes cantidades de animales, mientras que, por otro lado, se recogen plantas y animales para su exhibición en jardines botánicos y zoológicos, para deleite de coleccionistas parti-

culares y para productos fabricados a partir de ellos.

Como ejemplo de hasta dónde llega el comercio de animales para investigación, hace unos años recibimos una oferta para vendernos diversos animales con «fines de investigación» desde Nigeria. La lista adjunta incluía avestruces, dos tipos de ánsar, marabúes africanos, zorros, grullas coronadas, dos tipos de monos, babuinos y chimpancés.

Los primates, en particular, son los animales más propensos a las depredaciones en nombre de la investigación. Las capturas para zoólogos y laboratorios han contribuido a que los gorilas estén en vías de extinción, sobre todo porque, durante el proceso de captura se matan muchos, o bien mueren en cautividad antes de llegar a ser exhibidos o empleados en un experimento.[35]

Uno de los ejemplos más trágicos y absurdos atañe a la reciente fundación, con ayuda de una compañía petrolífera francesa, de un centro internacional de investigación médica en Franceville, Gabón. El centro fue fundado para estudiar y remediar la esterilidad humana, problema calificado de grave en Gabón, donde prevalece la opinión de que el país está poco poblado. En 1979, la tasa de crecimiento de la población natural de Gabón fue del 1,1 % anual, una tasa que, de mantenerse duplicaría la población en 63 años. La densidad demográfica es muy baja si se compara con la media de este mundo superpoblado, pero no está tan claro que un incremento de la población pueda servir para algo aparte de reducir su nivel de vida, relativamente alto. Por término medio, la renta *per capita* en Gabón es casi tan elevada como en Inglaterra, gracias a los enormes recursos de hierro, manganeso, uranio y petróleo.[36]

Para salvar a Gabón de un «problema» que buena parte del mundo desearía tener, el nuevo centro investigador ha construido una gran instalación destinada a experimentos con primates. En ese centro, los gorilas y chimpancés serán objeto de estudio con el fin de encontrar respuesta al problema, aunque según ha reconocido el presidente del gobierno de Gabón, la esterilidad de la población se debe a una epidemia de gonorrea. La instalación de primates está enfocada como una salida para los bebés de gorila que quedan «disponibles» cuando los gaboneses matan a las madres para comer. Según un observador, a finales de 1979 llegaron a la instalación seis bebés de gorila, mientras que otros cinco murieron debido a la impericia de los operarios.

Como ha señalado el doctor Shirley McGreal, de la International Primate Protection League (IPPL): «... los conejos funcionarían

mucho mejor como "modelos animales" de la fertilidad humana, pues el chimpancé y el gorila se reproducen tan mal que están muy cerca de la extinción y no pueden compensar reproductivamente la depredación humana».[37] La situación no deja de ser irónica ya que la principal amenaza para los gorilas en cualquier parte, es la expansión de las poblaciones humanas. Henry Heymann, de la IPPL, apuntaba que en Gabón: «... se estaba obligando a los gorilas a contribuir con su vida, salud, libertad y cordura a facilitar su propia defunción. Existe cierta semejanza con los prisioneros de un campo de concentración, a los que se obliga a cavar su propia tumba antes de ser asesinados».[38]

Así pues, en Gabón persiste la presión directa sobre el gorila. Son abiertamente cazados como alimento en un país relativamente rico, y se ampara y estimula la caza con un programa «científico» descabellado.

En todas partes, la demanda de grandes antropomorfos para la investigación médica es elevada, debido a su estrecha similitud con el ser humano; pero actualmente su empleo con fines de investigación sólo se admite bajo controles muy estrictos. Por desgracia, la calidad de la mayoría de las investigaciones médicas deja que desear y muchos de los proyectos responsables de la reclusión y sacrificio de los primates carecen de mérito alguno, y el proyecto de Gabón no es el único de este tipo.

La presión «científica» también afecta a las especies en peligro por causa de los zoos, ya que todos suelen comprar animales a comerciantes poco escrupulosos. Las condiciones bajo las cuales se obtienen y expeden los animales, acostumbran a ser horrorosas. Por ejemplo, en agosto de 1978, llegaron al aeropuerto de Bangkok tres tapires malayos, tres gatos de bengala, cincuenta macacos orsinos, un gibón de píleo, un huloc y treinta y ocho hilobates de manos blancas, todos ellos amontonados en seis cajones. Permanecieron por espacio de varios días en «condiciones de intenso calor e insufrible estrechez» antes de ser expedidos hacia Bélgica. La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) estimó que, el método utilizado para capturar a esos animales, los cuarenta gibones cautivos, todos ellos jóvenes, supuso la destrucción de al menos cien grupos de cría.[39] El cargamento era, sin lugar a dudas, inexcusable y probablemente ilegal; y los animales debieron de ir a parar, probablemente, a zoos.

Existe también un goteo sustancial de especies animales salvajes hacia colecciones ajenas a los zoos. Se capturan cantidades enor-

mes de peces de agua dulce y de los arrecifes coralinos destinadas a comercios de acuarios. No se conoce con precisión el número exacto, pero cabe adivinir la magnitud del mismo por algunas estadísticas. En 1970, Estados Unidos importó 84 millones de peces vivos, y la cifra debió de ascender a unos 250 millones en 1979.[40]

En 1970 entraron legalmente en Estados Unidos más de 2 millones de reptiles, número que se duplicó en 1979. Algunos de esos reptiles fueron a parar a colecciones privadas, pero lo más probable es que los zoos hayan adquirido la mayor parte del comercio. Existe un flujo adicional, no se sabe de qué dimensiones, de importaciones ilegales, sobre todo de serpientes raras. En 1977, ocho de los zoos más importantes del país fueron identificados como compradores de reptiles importados ilegalmente. Los catálogos de los distribuidores sacan a la venta especies protegidas, y el furtivismo de serpientes raras, como el crótalo de Arizona se está convirtiendo en una industria doméstica en el sudoeste de Estados Unidos.[41]

También en Italia están muy extendidos el coleccionismo y el tráfico comercial de reptiles y anfibios. Cada primavera se capturan muchas ranitas de San Antón, tortugas, lagartos y serpientes en Italia y los Balcanes, y se envían a Europa central para exhibirlos en zoos o convertirlos en animales de compañía. Las poblaciones silvestres de tortugas europeas corren ahora un serio peligro debido a ese tráfico de animales de compañía, y lo mismo ocurre con las poblaciones de serpientes y lagartos europeos. En Inglaterra, la culebra lisa está ya seriamente amenazada y, sin embargo, se sigue capturando y vendiendo en las tiendas de animales domésticos. Decenas de miles de tortugas terrestres y marinas entran cada año en Gran Bretaña con destino a ese tipo de comercio. Entre 1967 y 1972, el Reino Unido recibió más de 1,2 millones de ejemplares de la vulnerable tortuga griega o de jardín sólo procedente de Marruecos, y es de suponer que expediciones similares fueron a parar a la Europa continental. Se cree que el 80 % mueren durante el primer año de cautividad.[42]

Las aves que circulan por Estados Unidos y Europa para ser enjaulados y mantenidos como animales de compañía, se cuentan por millones, lo cual es indudable que debe de suponer una grave sangría para muchas poblaciones. La mayoría de las aves silvestres no prosperan en cautividad, e infinidad de ellas mueren durante la captura y el transporte. Por ejemplo, una de las aves más valiosas para el comercio es el gallito, de color rojo brillante, que habita en el norte de los Andes. Se cree que por cada ejemplar que llega a lucirse en un zoo, se matan cincuenta.[43]

También las especies vegetales sufren la presión de la caza. En ese centro de furtivismo de serpientes que es el sudoeste de Estados Unidos, ha aparecido otra actividad ilegal, el robo de cactus. La afición por los cactus y otras plantas raras es ahora tan popular en Estados Unidos que, entre octubre de 1977 y septiembre de 1978, se importaron casi 7 millones, procedentes de más de cincuenta países.[44] Sin embargo, hoy día, muchos coleccionistas se dirigen a los desiertos de Estados Unidos en busca de ejemplares. Esas plantas adornan generalmente las casas y jardines de los coleccionistas hasta que muere; ya que no pueden reproducirse y las poblaciones permanecen aisladas y, generalmente, en hábitats inadecuados.

Arizona cuenta, actualmente, con siete «policías de cactus» para tratar de frenar ese saqueo de plantas autóctonas ornamentales, cactus en su mayor parte. Las leyes de Arizona prohíben arrancar cualquiera de las 222 plantas protegidas, y aplican fuertes sanciones —hasta un año de cárcel y multas de hasta mil dólares— a los infractores. Pero el problema de hacer cumplir la ley, cuando hay que patrullar casi 250.000 kilómetros cuadrados de superficie, es insuperable para una fuerza tan reducida, enfrentada al furor actual por los cactus.

La fiebre del cactus no sólo se ha extendido por Estados Unidos; también se da en Europa, Japón y la Unión Soviética. En la URSS, existen, en la actualidad, 114 clubes de coleccionistas de cactus. En Japón, el saguaro gigante, originario de Arizona, se vende a 40 dólares el pie. Una expedición financiada por comerciantes japoneses, arrancó *todos* los cactus autóctonos y otras plantas carnosas de una isla de la costa de Baja California. Varias de las especies extraídas sólo se habían visto en esa isla, por lo que es de suponer que las especies silvestres estén ahora extinguidas.

En 1978, una población entera, de las dos que se conocían, de una especie de cactus entraba en Alemania cargada en quince maletas. Y en 1979, en el aeropuerto de Frankfurt, los funcionarios de aduanas incautaron 3.600 ejemplares de una de las especies más raras de cactus en el interior de las maletas de un grupo de coleccionistas que habían estado realizando un viaje «de estudio de cactus» organizado por una agencia turística de Stuttgart.

La magnitud del saqueo de las poblaciones de cactus es sobrecogedora. En una zona de Texas cerca del Big Bend National Park, se extraen cada mes entre 25.000 y 50.000 cactus, muchos de los

cuales, como los pájaros enjaulados, mueren antes de llegar al mercado. Ni siquiera en el parque nacional están seguras estas plantas que ahora empiezan a escasear incluso cerca de las carreteras. En 1977 salieron, sólo de Texas, de unos 10 millones de cactus.

En resumen, los cactus se han convertido en un gran negocio. Los ejemplares más espectaculares valen cientos de dólares y los más pequeños se revenden en los supermercados. El robo de plantas en Arizona es una empresa que rinde un millón de dólares al año. Resultado de ello es que, según estimaciones recientes de la Smithsonian Institution, existen setenta y dos especies y variedades de cactus (que representan casi la cuarta parte de toda la familia) en peligro de extinción, o a punto de estarlo. Y muchas especies de cactus son especies clave, que proporcionan alimento y espacio vital a muchos animales del desierto.

Los cactus no son las únicas plantas amenazadas por los coleccionistas. Las orquídeas son extremadamente populares, hasta el extremo de que, en los últimos años, Estados Unidos ha importado más de un cuarto de millón de ellas.[45] Sin duda alguna, el afán coleccionista está poniendo en peligro algunas poblaciones y especies de la variada familia de las orquídeas, compuesta por unas ocho mil especies. Las multas a los infractores de la orquídea británica más rara, la orquídea fantasma, ascienden a cien libras esterlinas ya que la última colonia de orquídea fantasma sólo produjo cinco flores en 1974; dos fueron robadas y una tercera acabó pisoteada por los buscadores y los excursionistas. Otras especies raras de orquídeas británicas padecen asimismo el pillaje de los buscadores, que las venden en el continente europeo a más de cien dólares la unidad.[46]

En los Alpes, una saxífraga rara está amenazada por los escaladores expertos que trepan por las paredes verticales orientadas al norte para recogerla. En el extremo climático opuesto, en las junglas de Sumatra, está amenazada la flor más grande del mundo, la *Rafflesia arnoldii*, una planta parásita, que tiene flores de 90 centímetros, lo que al parecer es un imán irresistible para los coleccionistas.[47]

El negocio peletero

Quizá la amenaza directa mejor conocida que se inflinge a los mamíferos terrestres sea la de la caza que sufren por una de sus principales características, el pelo. El comercio de pieles es un negocio mucho más rentable que el de los cactus, y está demostrado que es incluso más difícil de suprimir porque muchos propietarios originales de las pieles viven en países de una considerable pobreza, donde la presión para explotar este comercio es comprensiblemente elevada.

El empleo de la piel para ropa, alfombras, tiendas y similares es una tradición probablemente tan antigua como el propio *Homo sapiens*. El ser humano ha obtenido beneficios de su entorno inmediato durante la mayor parte de la historia de la especie, y cualquier cualidad útil hizo de las demás, piezas de cada perfectamente adecuadas. Pero la matanza indiscriminada de un gran número de mamíferos sólo por su cuero es una práctica más reciente, especialmente desde hace un siglo o dos, cuando las condiciones económicas dieron sostén a un comercio extensivo de pieles.

Pocos son los mamíferos comunes con una piel útil que hayan escapado a la inexorable explotación; y mientras tanto, esos mamíferos se han convertido a menudo en mamíferos raros. Por ejemplo, el mimoso koala australiano, una criatura que parece un oso de peluche y que muchos norteamericanos piensan que se llama «quantas», debido a las campañas publicitarias de la compañía aérea internacional de Australia.

En Australia, los koala sólo pueden verse en una reserva o en un zoo, a pesar de que solían ser muy abundantes en estado salvaje. Su piel era valiosa, y en los primeros tiempos de la invasión europea fueron cazados sin piedad. Hacia 1900, el número de koalas había descendido en gran número por doquier, fuera del estado nororiental de Queensland, si bien en 1908 aún fue posible enviar casi 60.000 pieles a los mercados de Sydney. En la región centromeridional de Australia, el koala fue exterminado poco después de acabar la primera Guerra Mundial. Con anterioridad, se expedían uno o dos millones de pieles al año, frecuentemente disimuladas bajo etiquetas como «castor», «mofeta», «opossum grisplateado» y «chinchilla de Adelaida».

Queensland es el estado frontera de Australia. Sus habitantes son alegres e independientes y sus políticos conservadores y localistas, lo que lo asemeja a Texas pero en las antípodas. El estado se niega a seguir el horario de verano, y el chiste de rigor de los pilotos de avión es: «acabamos de atravesar la frontera de Queensland, atrasen los relojes una hora y diez años».

Queensland era, hacia 1927, el último reducto del koala. Ese

año, en un suceso que el biólogo australiano A. J. Marshall calificó de episodio más sórdido de la historia del estado,[48] Queensland declaró abierta la veda del koala incluso allí donde se sabía que la situación de la especie era precaria. El gobierno estatal distribuyó no menos de diez mil licencias para tramperos, lo que permitió la matanza de más de medio millón de koalas en unos pocos meses. El gobierno de Queensland realizó esta tremenda acción únicamente para recaudar votos y dinero. Como decía Marshall: «Los pequeños terratenientes y los agricultores necesitaban dinero. Y el gobierno necesitaba sus votos. Los votos rurales suelen ser vitales. Y éstos se habrían perdido si el gabinete no hubiera decretado la apertura de la veda que tanto ansiaba este grupo rural de presión.»

El caso del koala es insólito porque sus efectivos han menguado mucho más por persecución indirecta que por destrucción del hábitat. (Ésta ha sido abundante últimamente, pero aún existen suficientes bosques de eucaliptus disponibles para la supervivencia de estos animales.)

Otros muchos animales portadores de pieles han sufrido por ambas causas, es decir, han sido cazados por su piel y ha sido destrozado su hábitat. Y algunos de los de piel más hermosa, como los grandes felinos, han sufrido asaltos adicionales debido a sus hábitos depredadores.

El irbis, por ejemplo, extendía su área de distribución por las tierras altas de Asia central. Aunque la destrucción humana del hábitat del irbis (y el del jabalí, el ciervo, la gacela, la cabra salvaje y sus respectivas presas) ha tenido, sin duda alguna, un efecto negativo, la principal amenaza proviene de los cazadores que buscan su magnífica piel de pelo gris pálido con matices crema, salpicado de rosetones negros.

Los majestuosos tigres tienen también serios problemas por la misma combinación de razones. Por otra parte, como los leones africanos, los tigres tienen la audacia de completar en ocasiones su dieta con el mismísimo gran exterminador, el *Homo sapiens*. Quizás existan unos pocos miles de tigres de Bengala sueltos en sus antiguos dominios de la India y países adyacentes, donde sufren una presión especialmente fuerte debido a la destrucción de su hábitat, de manera que los animales se concentran en áreas cada vez más pequeñas y cada vez más próximas a las poblaciones humanas, cuyos habitantes tienen miedo y quieren matarlos. Todavía existe caza furtiva de estos animales, y en 1979 Gran Bretaña aún importaba pieles ilegalmente.

Al parecer, el tigre del Caspio está extinguido, víctima de la destrucción de la vegetación que crecía a lo largo de los ríos donde vivía, como consecuencia del desarrollo del regadío a gran escala y de los programas agrícolas de la Unión Soviética. Aceleraron su desaparición los pelotones de exterminio formados por soldados, que se encargaban de eliminar los tigres cuando eran una amenaza para los pobladores humanos y los animales domésticos.

También ha desaparecido el tigre de Bali, y el de Java sigue sus mismos pasos. Los de Sumatra y Corbett se mantienen en mejor estado, el último sobre todo en reservas. Quizás existen trescientos individuos salvajes de tigre de Siberia. Su piel, de pelo largo, es la más valiosa de todas las pieles de tigre, y los chinos tienen en gran aprecio las propiedades medicinales de varias partes de su cuerpo. Aunque sometido a una intensa caza, su declinar es consecuencia principalmente de la destrucción generalizada de los bosques y presas naturales, sobre todo en Manchuria, su patria.

No se conoce cuál es el estado actual del tigre de China, pero la especie ha sufrido una persecución intensiva y queda muy poco de su hábitat natural. Es probable que ni al tigre de Siberia ni al de China les quede mucha vida fuera de los zoológicos.[49]

El guepardo y el león tuvieron en otro tiempo una amplia distribución por Asia, pero ahora son pocos los que quedan.[50] El león está, por el momento, relativamente seguro en África; sin embargo, la situación del guepardo es más precaria. Los cazadores furtivos siguen buscando su piel, y no existen esperanzas de conseguir controlar la caza en un futuro previsible. Pero aunque su piel no sirviera para nada, seguiría amenazado; la ecología del guepardo tiende a hacerlo vulnerable a la extinción. Este veloz cazador, que puede acelerar desde cero a sesenta kilómetros por hora en unas pocas zancadas, vive en las sabanas africanas a densidades bajas. Sus ataques diurnos a presas son muy conspicuos, por lo que se expone a perderlas ante depredadores más poderosos, como leones, leopardos y hienas manchadas.

Además, las crías de guepardo son muy vulnerables. Como siguen siempre a su madre durante los largos recorridos que realizan a través del territorio, es fácil que caigan en las garras de otros depredadores. Tampoco cuentan con la ventaja del sistema de «guardería», que ayuda a la protección de los cachorros de león. La madre guepardo acostumbra a cazar en solitario; por el contrario, la leona, que vive en grupos integrados mayoritariamente por hembras, suele tener quién le ayude a evitar los depredadores de crías.

Los hábitos cazadores del guepardo y su relativa debilidad hacen que sea fácil de localizar y exterminar cuando decide dirigir su atención hacia los animales domésticos. Y como la fauna de la sabana cede cada vez más terreno ante los rebaños de animales domésticos, ese cambio es también más y más frecuente.

Al mismo tiempo, existe una migración creciente de agricultores hacia los pastizales. Esto conlleva una fragmentación del hábitat que poco puede beneficiar a un animal tan disperso como el guepardo.[51] Ni siquiera las grandes reservas son capaces de mantener poblaciones lo suficiente grandes como para estar a salvo de la extinción aleatoria y, con toda probabilidad, de la pérdida de variabilidad genética. Asimismo, la migración natural entre parques para permitir la repoblación puede resultar imposible, lo que compromete al *Homo sapiens* a unas responsabilidades de gestión más serias, aunque sobrevivan los propios parques.

Por consiguiente, el futuro del guepardo depende del control de las amenazas directas que sufren debidas a causa de los depredadores, así como del freno de la fragmentación de la sabana por los agricultores.

Amenazas para otros productos

Además de los animales que poseen piel cotizada, otros muchos han sufrido, y sufren, la acción depredadora humana por los productos no comestibles que proporcionan. En Oriente y Sudamérica, se utilizan mariposas para hacer objetos decorativos. Asimismo, se sacrifican muchos cocodrilos, aligatores y serpientes para fabricar zapatos y bolsos. El cocodrilo cubano, perseguido como muchos de sus parientes por la piel, sólo subsiste en dos pequeños pantanos.[52] Varias especies de tortugas marinas gigantes están hoy día amenazadas, en parte porque con sus caparazones se fabrican diversos artículos. Millones de aves, desde el avestruz hasta el ave del paraíso, han sido exterminadas para que mujeres elegantes pudieran adornarse con sus plumas.

La mayor parte de la presión que sufren los elefantes se debe a la continua depredación que sufren a manos de furtivos del marfil. El Zaire y algún otro país africano son los centros de un tráfico de marfil que pesa sobre los elefantes de todo el continente. Se calcula que, sólo en Kenia, la población de estos animales ha disminuido en dos tercios en apenas ocho años. La caza furtiva en Uganda aumentó durante el reinado de Idi Amin, y no ha remitido desde entonces. Desde 1972, la población de elefantes del parque nacional de Ruwenzoi ha disminuido de 3.000 a sólo 150 individuos.[53] Se cree que el comercio del marfil es el causante de la muerte de 50.000 a 150.000 elefantes al año, lo que constituye más del 12 % de la población total africana. Cada mes, aviones de carga C-130 llevan a Sudáfrica cargamentos de marfil, pero también sale de África por Burundi, el Congo y la República Centroafricana. El precio de un par de colmillos puede suponerles el equivalente a los ingresos de diez años para un cazador furtivo africano.[54]

El animal que en los últimos tiempos ha sufrido la persecución más encarnizada a causa de un producto es el gran ramoneador del África subsahariana, el rinoceronte negro. En los últimos años, la demanda de cuerno de rinoceronte, ha llevado a cotas catastróficas la caza furtiva de rinocerontes. Hacia 1970 vivían en Kenia casi 20.000 rinocerontes negros. En 1980, la población no llega al 10 % de esa cifra, quizás unos 1.000. La contemplación de un rinoceronte negro en la llanura de Serengeti, vagando majestuoso, con algunos picabueyes en su lomo, o revolcándose en el barro como un enorme cerdo, era una de las atracciones turísticas más populares de África. Dentro de poco, los relatos y las fotografías de los viajeros serán los únicos lugares donde será posible observar a ese rinoceronte salvaje.

CONTROL DE LOS DEPREDADORES

La disminución de la amenaza directa de las especies está relacionada con el control de los depredadores. Dondequiera que el ser humano o su ganado doméstico ha sido presa de los carnívoros, el *Homo sapiens* ha tratado, lógicamente, de devolver el golpe. En los primeros combates, el ser humano se enfrentaba a animales como el león, el tigre y el oso de las cavernas con garrotes, lanzas, arcos y flechas, grandes piedras y puro valor. Durante mucho tiempo, la batalla se mantuvo más o menos en tablas; sin embargo, la invención del arma de fuego cambió la situación.

Cuando el ser humano dispuso de mosquetes, y más adelante de rifles, los grandes depredadores fueron abatidos. El oso gris o *grizzly* ha desaparecido por completo de Estados Unidos, incluido el estado de California, donde irónica, y quizá simbólicamente, es el animal oficial. El lobo, víctima de una mala prensa injustificada,

ha sido exterminado en la mayor parte de Europa y Norteamérica. Este inteligente animal es cualquier cosa menos la bestia traicionera y malvada de pasadas descripciones, como puede verse en el relato clásico de Farley Mowat, *Never Cry Wolf*.[55] En Tasmania, el marsupial homónimo del lobo, el lobo de Tasmania, ha sufrido una persecución similar y ha quedado confinado en áreas marginales e inaccesibles por idénticos motivos.

Los programas de control de los depredadores, contribuyen a poner en peligro muchas especies. El águila de cabeza blanca, a pesar de estar estrictamente protegida, todavía es abatida por los cazadores en Estados Unidos. Hay incluso quien persigue y dispara a las águilas desde helicópteros.

Estados Unidos dedica grandes esfuerzos a tratar de controlar el coyote, una especie que no está en peligro de extinción, pero que prospera en presencia del *Homo sapiens* y ha aumentado su población y su territorio. Parece haber evolucionado hacia un animal más grande, más resistente y más sagaz gracias a las presiones selectivas del ser humano que trata de suprimirlo. La biología del coyote, incluida la capacidad de aumentar su tasa reproductiva bajo compulsión, permite a sus poblaciones soportar una elevada mortalidad y seguir existiendo.

En algunas zonas, el coyote puede ocasionar importantes pérdidas de ovejas y corderos, pero no hasta el punto que le achaca la sabiduría popular. Las presiones de los ovejeros promovieron en una ocasión la difusión de un veneno contra los coyotes, lo cual desembocó en una elevada mortandad de gran variedad de especies, hasta que una orden ejecutiva del presidente les puso fin en 1972. Sin embargo, la efectividad de esos programas de control contra el coyote es problemática ya que, a menudo se traducen en una población mayor de coyotes.

Un programa de control sensato consistiría en atacar al individuo depredador concreto, no en eliminar todos los coyotes de un área extensa. También conllevaría enseñar a los ganaderos y demás personas interesadas —especialmente a aquellos cuyos rebaños pacen en terrenos públicos, donde se supone que la preservación de la fauna es uno de sus «muchos usos»— que cierto nivel de depredación es un coste más del negocio con el que se debe contar. Existen muchas maneras de evitar la depredación del ganado sin tener que tratar de exterminar a los depredadores. Por ejemplo, mantener uno o dos perros guardianes en cada rebaño es un método simple y, al parecer, efectivo, ya que la sola presencia de esos perros

suele ser suficiente para que el coyote desista de atacar el rebaño. Pero hoy día muchos ganaderos piensan que deberían tener la libertad de dejar pastar a sus rebaños sin protección de ningún tipo.[56]

La humanidad también ha tratado de exterminar las poblaciones y especies de herbívoros que atacan las plantas domésticas. Una fuente importante de mortalidad para el elefante africano han sido los programas de control instrumentados para evitar que importunen en las fincas. Con estos programas, se han exterminado poblaciones enteras de estos animales. Un gran animal de una isla superpoblada, el elefante de Ceilán, ha entrado en la categoría de especie amenazada por la caza deportiva y el control de los depredadores. Los daños ocasionados por los elefantes en las plantaciones llevaron al gobierno a instituir un generoso programa en 1831. Un celebrado cazador del momento, el mayor Rogers, mató en poco tiempo mil cuatrocientos elefantes, y el número de muertes en general llegó a tal extremo que el gobierno tuvo que recortar la gratificación de diez a siete chelines para ahorrar dinero. Actualmente, el par de miles de elefantes que quedan en Sri Lanka dependen de unas pocas e inadecuadas reservas para sobrevivir, lo cual no parece probable dado el crecimiento de la población humana y el de la agricultura.[57]

En resumen, el *Homo sapiens* tiene tras de sí una larga historia de ataques a otras especies, algunos de los cuales han culminado en la extinción de las especies atacadas. El ser humano ha cazado para obtener alimento y otros productos durante milenios, y lo más probable es que, como mínimo, estas acciones contribuyeran a la extinción de muchos grandes mamíferos antes de producirse la revolución agrícola. También ha matado —y continúa matando— animales para prevenir ataques reales o imaginados contra su propia persona o contra sus animales y cultivos domésticos.

Así pues, las presiones directas contra otras especies son, evidentemente, un importante factor de extinción. No obstante, en animales como los grandes felinos, elefantes y rinocerontes, la presión de caza directa ha aumentado debido a la perturbación o destrucción del ecosistema en que vive el animal, su hábitat. De hecho, el método *indirecto* de destrucción del hábitat es, el medio más mortífero con que la humanidad ha contado para llevar a muchos seres vivos al límite de la extinción. Y es este ataque indirecto el que constituye la mayor amenaza para otras formas de vida futuras.

APÉNDICE

TAXONOMÍA DE LOS ORGANISMOS TRATADOS EN ESTA OBRA

En la mayoría de los casos se ha hecho referencia a lo organismos denominándolos por su nombre vulgar en inglés americano. Así como este hecho logra que el texto sea más inteligible para cualquier persona interesada en el tema (incluso los biólogos no reconocen, a menudo, los nombres latinos o específicos de los organismos fuera de su especialidad), también plantea problemas. Por un lado, existen organismos que tienen más de un nombre vulgar: Por ejemplo, la mariposa *Nymphalis antiopa* es denominada «Mourning cloak» en Norteamérica y «Camberwell beauty»* en Gran Bretaña. Recíprocamente dos organismos distintos pueden tener el mismo nombre vulgar. Así el «robín» es *Turdus migratorius* para los americanos, mientras que para los ingleses el «robín» es *Erithacus rubicula,* la misma especie que en Holanda se denomina «roodborst», «rotkehlchen» en Alemania, «rödhake» en Suiza y «rougegorge» en Francia.**

Este apéndice pretende, en consecuencia, hacer una relación de los organismos tratados a lo largo del libro por medio de un sistema taxonómico que no posea ningún tipo de ambigüedad. Dentro de las grandes clases de organismos se ha establecido una relación alfabética de los nombres vulgares de los organismos mencionados en el texto. Allí donde el nombre vulgar corresponde a

* En castellano *vanesa de los sauces* (aunque sus orugas se alimentan también de las hojas de álamos y abedules), y, a veces, también traducido como «antíope», un nombre, sin embargo, sin ninguna tradición. *(N. del T)*

** En castellano el *Turdus migratorius* es el *robín americano,* mientras que el *petirrojo* es el *Erithacus rubecula,* que corresponde al «robín» de los ingleses o «fougegorge» del francés. *(N. del T.)*

una especie o subespecie, va seguido de su nombre latino específico o subespecífico, después del cual se ha incluido el de la familia. taxonómica a la que pertenece el organismo. En el caso de los animales, este nombre siempre termina en *-idae*, mientras que en las plantas, usualmente (pero no siempre), se da en *-aceae*. Puesto que hay numerosísimas familias de insectos se ha añadido, en este caso, a continuación de los nombres de la familia, el del orden al cual pertenece el insecto. Así, por ejemplo, *Euphydryas editha* pertenece a la familia de los Nymphalidae (mariposas con cuatro patas), mientras que los Nymphalidae, a su vez, pertenecen al orden de los Lepidoptera (insectos con alas recubiertas de escamas: mariposas y polillas). Por lo que se refiere a la diversa variedad de invertebrados se ha indicado en la mayoría de los casos la clase y el phylum.

En algunos casos se utilizan comúnmente dos nombres científicos para designar a un mismo organismo. Por ejemplo, el león es citado (fundamentalmente en la literatura más antigua) como *Felis leo* y (más recientemente) como *Panthera leo*. Qué es lo más correcto depende del parecido que se considere correcto entre el león y el gato doméstico de cara a incluirlos en un mismo género. En casos como éste, y en otros similares con respecto a los nombres vulgares, se ha indicado una segunda alternativa entre paréntesis. Por ejemplo, *Panthera (Felis) leo*. De modo similar, cuando se hace referencia a grandes categorías por ejemplo, familias de plantas) en las que se usan comúnmente dos nombres, se incluye un segundo nombre precedido por el signo =, entre paréntesis. La abreviación sp. después de un nombre genérico significa una especie no identificada del género, mientras que la abreviación spp. significa especies en plural. Así, los «pipits»* son los *Anthus* spp., un conjunto de especies distintas del género *Anthus*.

(*) *Bisbitas*, en español. *(N. del T.)*

NOTAS

CAPÍTULO 1

1. Jane Goodall, «Life and death at Gombe», *National Geographic* 155:592-620, mayo 1979.

2. Una fuente básica para conocer cuáles son las especies en peligro son los volúmenes del *Red Data Book*, periódicamente renovados y puestos al día por la International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN); Volumen 1, *Mamíferos;* Volumen 2, *Aves;* Volumen 3, *Anfibios y reptiles,* y Volumen 4, *Peces*. Por lo que respecta a los vegetales existe el volumen, de 1978, *The IUCN Plant Red Data Book*, compilado por Gren Lucas y Hugh Synge. Todos ellos publicados por Morges, Suiza.

3. *El origen de las especies*, 1ª edición, pág. 109. Una buena y breve introducción para todos los públicos es la obra de Frank H. T. Rhodes, *Evolution*, Golden Press, Nueva York, 1974, en la que se incluye de forma simple y precisa, una gran cantidad de información.

4. Las estimas son de P. R. Ehrlich, A. H. Ehrlich y J. P. Holdren, *Ecoscience: Population, Resources, Environment*, W. H. Freeman, San Francisco, 1977, p. 142.

5. Los cocodrilos son representantes de los reptiles arcosaurios, grupo al que pertenecieron también las dos clases de dinosaurios (Saurischia y Ornithischia) que no presentaban, tal vez, más parecido o parentesco entre sí que con los cocodrilos. Los pterosaurios, que a menudo también son considerados popularmente como dinosaurios, constituyen un tercer grupo de arcosaurios. Algunos científicos piensan, sin embargo, que los dos grupos de dinosaurios presentan muchas similitudes y de existir actualmente serían de sangre caliente. Por otro lado, las aves, descendientes de los Saurischia, podrían ser incluidas, junto con los propios Saurischia y Ornithischia, en la clase Dinosauria (R. T. Bakker y P. M. Galton, «Dinosaur monophyly and a new class of vertebrates», *Nature* 248:165-172, 1974).

6. J. Harte y R. H. Sokolow, «The Everglades: Wilderness versus rampant land development in South Florida», in Harte and Sokolow, *Patient Earth*, Holt, Rinchart and Winston, Nueva York, 1971.

7. Por supuesto que es imposible señalar las consecuencias que hubiera podido tener la no evolución de un grupo completo de organismos. En ausencia de aves,

por ejemplo, los murciélagos podrían haber desarrollado costumbres diurnas y aprehendido la función de las aves insectívoras. Lo que sí es cierto es que sin las aves la historia evolutiva habría sido bastante distinta y no puede decirse a ciencia cierta si la humanidad habría aparecido en escena.

8. Para los resultados del trabajo llevado a cabo sobre el significado de los colores en este tipo de peces, véase P. R. Ehrlich, T. H. Talbot, B. C. Russell y G. R. V. Anderson, «The behaviour of chaetodontid fishes with special reference to Lorenz's "poster coloration" hypothesis», *Journal of Zoology*, Londres 183:213, 1977.

9. G. Anderson, A. Ehrlich, P. Ehrlich, J. Roughgarden, B. Russel y F. Talbot, «The community structure of coral reef fishes», en la revista, *American Naturalist*.

10. J. E. Lovelock, *Gaia: A New Look at Life on Earth*, Oxford University Press, Nueva York, 1978, págs. 97-98.

CAPÍTULO 2

1. Para un tratamiento convencional de la definición de especie véase el clásico texto *Populations, Species and Evolution*, de un destacado evolucionista, Ernst Mayr (Harvard University Press, Cambridge, 1970). Existe una traducción castellana con el título *Especies Animales y Evolución*, editada por Ariel. Por otro lado, un punto de vista más heterodoxo puede verse en P. R. Ehrlich «Has the biological species concept outlived its usefulness?» *Systematic Zoology* 10:167-176, 1961; y P. R. Ehrlich y R. H. Haven, «Differentiation of Populations», *Science* 165:1228-1232, 1969. Nótese que las diferencias de puntos de vista expresadas en estas publicaciones se refieren a detalles del proceso evolutivo y a la clasificación de los productos de dicha evolución. Tales diferencias son, hoy día, falsamente presentadas en las formulaciones antievolucionistas como puntos débiles de la teoría de la evolución. No hay tal cosa. La explicación de la evolución en éste y en capítulos posteriores es, necesariamente, simplificada.

2. Cuando una especie es descrita y denominada formalmente por un taxonomista en una publicación, el nombre que se le otorga ha de ser latinizado y presentar una determinada forma. Por ejemplo, el perro fue llamado *Canis familiaris*, en 1758, por el gran taxonomista sueco, Linné. Linné fue el fundador de la nomenclatura *binomial* (dos nombres) para las especies. Cada especie tiene un nombre que consta de dos partes, un nombre genérico (*Canis*) y un nombre específico (*familiaris*). El nombre de la especie humana es *Homo sapiens* lo que quiere decir que el hombre pertenece al género *Homo*.

3. Cada género pertenece a una familia, el nombre de la cual, tratándose de animales, se forma con la desinencia *-idae* añadida a la raíz del nombre de un género de la familia. El perro pertenece a la familia Canidae (perros, lobos, zorros, etc.). A su vez la familia Canidae pertenece al orden Carnivora, que también incluye la familia del gato, Felidae, la familia del oso, Ursidae y otras. El orden Carnivora, a su vez, pertenece a la clase de los Mammalia (mamíferos) junto con el orden de los Primates, el orden Rodentia (roedores) y otros quince. La clase Mammalia pertenece al phylum Chordata (vertebrados y sus parientes próximos), el cual es uno de los diversos phyla del Reino Animal (el de los animales). Todos los organismos pueden ser colocados, de forma similar, en el esquema jerárquico de la clasificación científica.

3. P. R. Ehrlich y H. K. Clench, «A new subgenus and species of *Callophrys* (s.l.) from the southwestern United States (Lepidoptera: Lycaenidae), *Entomological News* 71:137-141, 1960.

4. La descripción del linaje humano está muy simplificada, aunque algunos biólogos ponen en duda la existencia de una línea directa desde los australopitecinos al *H. sapiens* pasando por el *H. erectus*.

5. Los gemelos idénticos pueden, técnicamente, presentar algunas ligeras diferencias genéticas caso de que tenga lugar alguna mutación después que el zigoto se haya dividido y dado lugar a los dos individuos.

6. J. H. Camin y P. R. Ehrlich, «Natural selection in water snakes *(Natrix sipedon)* on islands in Lake Erie», *Evolution* 12:504-511, 1958.

7. Se trata de una descripción muy simplificada de la especiación geográfica o *alopátrica*, el mecanismo que probablemente es más común en la naturaleza. Para una perspectiva de manual, acerca de la especiación, véase Ehrlich, Holm y Parnell, *The Process of Evolution*, 2ª edición, McGraw-Hill, Nueva York, 1974. Para un tratamiento académico tradicional puede verse Ernst Mayr, *Population, Species and Evolution*, op. cit., mientras que algunos datos sobre las complejidades de la teoría de la especiación pueden encontrarse en G. L. Bush, «Modes of animal speciation», *Annual Review of Ecology and Systematics* 6:338-364, 1975.

8. *El origen*, pág. 340. Una edición facsímil de bolsillo de la primera edición del *Origen*, con una brillante introducción de Ernst Mayr, fue publicada por Harvard University Press en 1964.

9. Everyman's Library Edition, Dutton, Nueva York, 1959, p. 365.

10. *El origen*, pág. 400. La explicación de la especiación en las Galápagos es aquí, necesariamente, simplificada.

11. Norman Myers, *The Sinking Ark*, Pergamon Press, Nueva York, 1979; Council on Environmental Quality, *Global 2000: Entering the 21st Century* Government Printing Office, Washington D.C., 1980.

12. La estima de quinientos millones es de G. G. Simpson, «How many species?» *Evolution* 6:432, 1952. Por supuesto que se trata nada más que de una conjetura, de la misma manera que es una hipótesis la estimación de que son cerca de cien millones las especies actualmente existentes. En lo que los científicos sí están de acuerdo es en aceptar que aquéllas que viven en la actualidad suponen sólo un porcentaje muy pequeño de las que existieron en el pasado.

13. L. W. Alvarez et. al., «Extraterrestrial cause for Cretaceous-Tertiary extinction», *Science* 208:1095-1108, 1980. Para una descripción popular de la hipótesis del asteroide véase Stephan Jay Gould, «The belt of an asteroid», *Natural History*, junio 1980, págs. 26-33. Gould es uno de los mejores escritores entre los científicos y su columna mensual en el *Natural History* siempre merece ser leída. Puede haber algo cierto en la hipótesis de que la reducción de la fotosíntesis pudo haber sido un factor de aquellas extinciones, pero la noción de que la fotosíntesis estuvo totalmente paralizada durante un década es absurda. No sólo la mayoría, sino todos los grupos de insectos, por ejemplo, se hubieran extinguido.

14. El trabajo con las mariposas *Glaucopsyche* se describe en P. R. Ehrlich, D. E. Breedlove, P. F. Brussard y M. A. Sharpe, «Weather and the "regulation" of subalpine populations», *Ecology* 53:243-247, 1972.

15. Véase, por ejemplo, J. Terborgh, «Preservation of natural diversity: The problem of extinction prone species», *Bio Science* 24:715-722, 1974. En la literatura técnica se suele designar a las especies de reproducción lenta como estrategas de la K, mientras que a las de tasas de reproducción mayores se las suele designar como estrategas de la r.

16. La información acerca de los rinocerontes está tomada de G. E. Hutchinson y S. D. Ripley, «Gene dispersal and the ethology of the Rhinocerotidae», *Evolution* 8:178-179, 1954; y J. Fisher, N. Simon y J. Vincent, *Wildlife in Danger*, Vinking, Nueva York, 1969.
17. La información sobre la utilización del cuerno de rinoceronte procede del ecólogo de la vida salvaje Lee Talbot, publicada por Janet Raloff en «Stealing a horn of plenty», *Science News* 116:346-348, 1979.
18. El cuerno de rinoceronte llega a alcanzar los 5.000 dólares por kilogramo en Hong-Kong, algo más de 150 dólares la onza-oro (*Focus*, World Wildlife Fund Special Report, verano de 1979).

CAPÍTULO 3

1. Los detalles sobre la muerte de Digit pueden verse en «His name was Digit», por Dian Fossey, publicado por la International Primate Protection League, P. O. Drawer X, Summerville, SC 29483, sin fecha.
2. La información sobre los métodos balleneros es de sir Sydney Frost, *Whales and Whaling: Report of the Independent Inquiry*, Australian Government Publishing Service, Camberra, 1978.
3. John Larkin, *Age* de Melbourne del 18 de junio de 1977, citado en ibid.
4. Discusión de la Special Commission on Internal Pollution, Londres, octubre de 1975.
5. La nación de Papuasia y Nueva Guinea es la primera del mundo que ha introducido en su constitución la conservación de los insectos como un objetivo nacional. Dicho país, mediante un sistema de reservas y programas de cría comercial, no sólo protege la magníficas ornitópteras o mariposas de alas de pájaro sino que obtiene importantes recursos económicos de la cría y venta de ejemplares a coleccionistas de todo el mundo (R. M. Pyle, «Butterflies: Now you see them», *Defenders*, enero-febrero 1981, págs. 4-10).
6. Acerca del tema de los colores y, en general, de los insectos, véase H. V. Daly, J. T. Doyen y P. R. Ehrlich, *Introduction to Insect Biology and Diversity*, McGraw-Hill, Nueva York, 1978.
7. La investigación original del tema es debida a D. Aneshansley, T. Eisner, J. Widom y B. Widom, «Bioquímica a 100 °C: La descarga explosiva de los escarabajos escopeteros *(Brachinus)*, *Science* 165:161-163, 1969. Otros resultados posteriores fueron puestos de manifiesto por Eisner, en un seminario, en el Department of Biological Sciences de la Stanford University, en febrero de 1980.
8. J. C. Lloyd, «Mimetismo agresivo en las luciérnagas *Photuris:* Signal repertoires by femmes fatales», *Science* 187:452-453, 1975.
9. La extraordinaria secuencia fue investigada por E. L. Kessel en un trabajo clásico, «The mating activities of balloon flies», *Systematic Zoology* 4:97-104, 1955. La primera forma de comportamiento que se descubrió (en 1875) fue el último estadio evolutivo, que no tuvo sentido evolutivo hasta que se descubrieron las formas intermedias. La secuencia global es considerada en una perspectiva general en la crucial obra de E. O. Wilson *Sociobiology: The New Synthesis*, Harvard University Press, Cambridge, 1975. (Hay traducción española: *Sociobiología: la nueva síntesis*.)

10. Véase E. O. Wilson, *The Insect Societies*, Harvard University Press, Cambridge, 1971; y C. D. Michener, *The Social Behavior of Bugs: A Comparative Study*, Harvard University Press, 1974, para una visión sintética.
11. Hipótesis no publicada de R. W. Holm, Stanford University.
12. *Moby Dick*, Bobbs-Merill Educational Publishing, Indianápolis, 1964 (primera edición de 1851), pág. 189.
13. W. E. Schevill, «Underwater sounds of cetaceans» en W. N. Tavolga, ed., *Marine Bio-Acoustics*, Pergamon Press, Nueva York, 1964; R. S. Payne y S. McVay, «Songs of Humpback Whales», *Science* 173:585-597, 1971.
14. Los sonidos de las ballenas se pueden escuchar en un soberbio disco estereofónico de CRM Records (álbum SWR-II). Es necesario disponer de un buen equipo de alta fidelidad para obtener el máximo beneficio de la virtuosidad de las ballenas, ya que si los altavoces son inadecuados las notas más altas y las más graves pueden perderse. El álbum va acompañado por un folleto de amplia información.
15. Buena parte de la información acerca del rorcual azul está basada en George L. Small, *The Blue Whale*, Columbia University Press, Nueva York, 1971.
16. Señalado por F. T. Bachmura, «The economics of vanishing species», *Natural Resources Journal* II:687, 1971.
17. H. H. Iltis, P. Andrews y O. Loucks, «Criteria for an optimum human environment», *Bulletin of Atomic Scientists* 26(I):2-6, 1970.
18. Oxford University Press, Nueva York, 1978. Es lástima que este polémico libro no sea de lectura obligatoria para todos los miembros de las sociedades industriales.
19. Bernard Dixon, «Smallpox — Inminent extinction and an unresolved dilemma», *New Scientist* 69:430-32, 1876.
20. Lynn White, Jr., «The historical roots of our ecologic crisis», *Science* 155:1203-1207, 1967.
21. La discusión acerca del carácter no homocéntrico de la tradición judeocristiana está ampliamente basada en el excelente artículo de Roderick Nash «Do rocks have rights? «*The Center Magazine*, noviembre-diciembre de 1977. Véase también su *Wilderness and the American Mind*, Yale University Press, New Haven, 1967.
22. *Sand County Almanac*, Oxford University Press, Nueva York, 1949 (reeditado en 1970), pág. 204.
23. C. D. Stone, *Should Trees Have Standing? Toward Legal Rights for Natural Objects*, Kaufmann, Los Altos, California, 1974.
24. «Do rocks have rights?» op. cit.

CAPÍTULO 4

1. P. R. Ehrlich y P. H. Raven, «Butterflies and plants: a study of coevolution», *Evolution* 18:586-608, 1964.
2. La información acerca de los orígenes de la pervinca es de G. E. Trease y W.C. Evans, *Pharmacognoscy*, 10 ed., Williams and Wilkins, Baltimore, 1972, mientras que las cifras de ventas son de Norman Myers, «What is a species worth?, manuscrito para *Science Digest*, 1980.

3. S. M. Kupscher, I. Uchida, A. R. Bronfman, R. G. Dailey, Jr., y B. Yu Fei, «Antileukemia principles isolated from Euphorbiaceae plants», *Science* 191:571, 1976.
4. W. H. Lewis y M. P. F. Elvin-Lewis, *Medical Botany: Affecting Man's Health*, Wiley, Nueva York, 1977: una excelente y exhaustiva obra. Véase también R. S. Solecki, «Shanider IV, a Neander thal flower burial in northern Iraq», *Science* 190:880-881, 1975.
5. Por ejemplo, Lewis y Elwin-Lewis, *Medical Botany*, op. cit. Ésta es la fuente de procedencia de algunas de las informaciones de esta sección.
6. *The Sinking Ark*, Pergamon Press, Nueva York, 1979, pág. 70.
7. Ibid., pág. 72.
8. Para ejemplos de los problemas que las compañías farmacéuticas han experimentado véase N. Farnsworth y R. Morris, «Higher plants —the sleeping giant of drug development», *American Journal of Pharmacology* 148:46-52, marzo-abril 1976.
9. G. D. Ruggieri, «Drugs from sea», *Science* 194:491-497, 1976.
10. Véase la información sobre el simposio de biomedicina marina en el número de diciembre de 1969 de *Lloydia*.
11. Ruggieri, «Drugs from the sea», op. cit.; la citarabina se conoce también con el nombre de arabinósido de citosina.
12. S. K. Sikes, «Observations on the ecology of arterial disease in the African elephant *(Loxodonta africana)* in Kenya and Uganda», *Symposium of the Zoological Society of London*, n.º 21, págs. 251-273, 1968.
13. S. S. Cohen, «Comparative biochemistry and drug design for infectious disease», *Science* 205:964-971, 1979.
14. Existe también la hepatitis A (hepatitis infecciosa) causada por un virus distinto del que produce la hepatitis B, denominada hepatitis sérica.
15. «New vaccine may bring man and chimpanzee into tragic conflict», *Science* 200:1027-1030, 1978. El resumen de la controversia en torno de la vacuna está basado en dicho artículo.
16. La información sobre la susceptibilidad vírica procede del doctor David C. Regnery, del Departament of Biological Sciences, de la Stanford University, comunicación personal.
17. B. Bauerle y al., «The use of snakes as a pollution indicator species»; *Copeia* n.º 2, págs. 366-368, 1975.
18. National Academy of Sciences, *Underexploited Tropical Plants of Promising Economic Value*, National Academy of Sciences, Washington D. C., 1975.
19. P. R. Ehrlich, A. H. Ehrlich y J. P. Holdren, *Ecoscience: Population, Resources, Environment*. W. H. Freeman, San Francisco, 1977, pág. 286.
20. National Academy of Sciences, *Underexploited Tropical Plants* ..., op. cit., pág. 1.
21. FAO, *State of Food and Agriculture*, 1978, FAO, Roma, 1979.
22. National Academy of Sciences, *Underexploited Tripical Plants* ..., op. cit.
23. Las zosteras no son auténticas gramíneas sino miembros de la familia de las zosteráceas, que a veces se incluye dentro de la familia de las Potamogetonáceas. Por lo que respecta a su valor económico véase R. Felger y M. Maser, «Eelgrass (*Zostera marina* L.) in the Gulf of California: Discovery of its nutritional value by the Seri Indians», *Science* 181:355-356, 1973.
24. Los datos proceden, básicamente, de National Academy of Sciences, *Underexploited Tropical Plants*. op. cit.
25. Ehrlich y Raven, «Butterflies and plants», op. cit.

26. *Ecoscience*, op. cit., pág. 345.
27. National Academy of Sciences, *Genetic Vulnerability of Major Crops*, National Academy of Sciences, Washington D.C., 1972.
28. La complejidad de la Revolución Verde ha sido muy simplificada aquí; para más detalles véase *Ecoscience*, op. cit., págs. 329 y ss.
29. *Newsweek*, «What comes naturally», 1 de septiembre, 1975.
30. Las cifras del parásito proceden de Norman Myers, *The Sinking Ark*, op. cit., pág. 68; la historia del maíz perenne de R. W. Holm, del Department of Biological Sciences, Stanford University, en comunicación personal.
31. Departamento de Comercio de Estados Unidos, Bureau of the Census, *Statistical Abstract of the United States, 1978*.
32. Fuentes: FAO, *State of Food and Agriculture, 1977;* Council on Environmental Quality, *Global 2000: Entering the Twenty-first Century*, U.S. Government Printing Office, Washington D.C., 1980.
33. G. Fryer y T. D. Iles, *The Cichlid Fishes of the Great Lakes of Africa: Their Biology and Evolution*, T. F. H. Publications, Hong Kong, 1972.
34. M. H. Crawford, «The case for new domestic animals», *Oryx* 12:351-360, 1974.
35. Mitchell Prize Paper, 1979 (multicopia).
36. Crawford, «The case for new domestic animals», op. cit.
37. Paul DeBach, *Biological Control by Natural Enemies*, Cambridge University Press, Londres, 1974, pág. 118.
38. F. J. Simmonds y al., «History of biological control», en C. B. Huffaker y P. S. Messenger, *Theory and Practice of Biological Control*, Academic Press, Nueva York, 1976.
39. Council on Environmental Quality, op. cit.; Erik Eckholm, «Planting for the future: Forestry for human meeds» *World watch Paper 26*, Worldwatch Institute, Washington D. C. febrero de 1979.
40 R. H. Raven, «Ethics and attitudes», en J. B. Simmons y al., *«Conservation of Threatened plants»*, Plenum, Nueva York, 1976, pág. 174.
41. Thomas K. Maugh II, «Guayule and Jojoba: Agriculture in semiarid regions», *Science* 196:1189-1190, 1977, y National Academy of Sciences, «Underexploited Tropical Plants ...», op. cit.
42. Ibid.
43. National Academy of Sciences, *Leucaena: Promising Forage and Tree Crops for the Tropics*, National Academy of Sciences, Washington D.C., 1977.
44. J. D. Johnson y C. W. Himman, «Oils and rubber from a rid land plants», *Science* 208:460-463, 1980.

CAPÍTULO 5

1. Muchas de las influencias son lo suficientemente pequeñas como para perderse entre el «ruido» del sistema.
2. La historia del DDT y los gatos fue narrada por Gordon Harrison, *Natural History*, diciembre 1968.
3. Puesto que todos los procesos naturales o tecnológicos conservan energía —la primera ley de la termodinámica dice que la cantidad total de energía permane-

ce constante, incluso cuando cambia su distribución entre las distintas formas de energía— se podría pensar que la energía podría ser reciclada. Sin embargo, el atributo de la energía que la hace de utilidad en su capacidad para realizar un trabajo y dicho atributo no se conserva. La segunda ley de la termodinámica dice que todas las transformaciones energéticas conllevan una disminución, no recuperable, de la capacidad de la energía de efectuar un trabajo. La magnitud de esta reducción de capacidad es igual o mayor que el trabajo realizado y en los procesos de la vida real el término «mayor» siempre prevalece. El atributo útil de la energía —su capacidad para realizar un trabajo— no es reciclable sino que sólo puede ser usado una vez. Es por esta razón que todos los sistemas, naturales y tecnológicos, requieren para su continuidad un aporte más o menos continuo de energía «fresca».

La fracción de una cantidad dada de energía que representa la capacidad teórica de realizar un trabajo se denomina a menudo la *disponibilidad* de la energía. Esta fracción depende únicamente de las propiedades de la propia energía —esto es, de su forma (química, eléctrica, térmica, etc.) y, a veces, de otras características como (en el caso de la energía térmica) de la diferencia de temperatura entre la energía y sus alrededores. La fracción del potencial teórico realmente aprovechada por un determinado proceso consumidor de energía depende, sin embargo, de los detalles de este proceso. Así, mientras que la energía química de la gasolina tiene una disponibilidad de, esencialmente, el 100 % —en teoría, prácticamente, toda esta energía puede ser utilizada para realizar un trabajo— los actuales motores de gasolina, de combustión interna, funcionan con un rendimiento, en forma de trabajo útil, de alrededor de un 30 % de aquel potencial. (La mayor parte de aquella disponibilidad se pierde en este caso durante las primeras etapas del proceso, en la combustión de la gasolina para dar lugar a los gases calientes expelidos por el motor.) La disponibilidad en tales productos de la combustión es sólo, aproximadamente, de la mitad del de la gasolina).

La diferencia entre la cantidad de energía procesada y la cantidad aprovechada en forma de trabajo tiene dos componentes distintos: la parte debida a la energía no disponible desde el comienzo y otra parte que se convierte en no disponible por las limitaciones del proceso concreto utilizado. Ambos tipos de pérdidas tienden a manifestarse de la misma forma, es decir, por emisión de calor residual (energía térmica) cuya disponibilidad es escasa debido a que la diferencia de temperatura con el medio exterior es insuficiente. Es importante tener en cuenta que la energía transformada en trabajo también acaba, más tarde o más temprano, en el ambiente en forma de calor residual como resultado de transformaciones adicionales que, de acuerdo con el segundo principio de la termodinámica, tienden, inevitablemente, a dirigirse en la misma dirección.

4. Los herbívoros pueden sobrepasar en peso a las plantas de las que se alimentan si estas plantas crecen muy deprisa, de modo que existe una rápida renovación a nivel de los productores. En algunos sistemas marinos, las plantas son algas unicelulares que se reproducen muy deprisa y la masa de plantas es excedida, por la de los animales que se alimentan de ellas y que no se reproducen tan rápidamente. Esta situación se denomina una *pirámide de biomasa invertida*. El flujo de energía, sin embargo, es siempre mucho mayor a través del nivel trófico de los productores que en el caso de los herbívoros y esta pirámide de flujos energéticos nunca es invertida. Para más detalles véase E. P. Odum, *Fundamentals of Ecology*, 3ª ed. W. B. Saunders, Philadelphia, 1971. (Existe una traducción en castellano, con el título *Ecología*, publicado por Ed. Inter-*americana*.)

5. Carta al *Times* de Londres del 4 de febrero de 1971.

6. Véase G. M. Woodwell, «Toxic substances and ecological cycles», *Scientific American*, marzo de 1967.

7. P. R. Ehrlich y Peter Raven, «Butterflies and plants: a study in coevolution», *Evolution* 18:586-608, 1964.

8. El término «efecto invernadero» es en realidad incorrecto puesto que buena parte del efecto calorífico en un invernadero no procede de un proceso similar al que tiene lugar en la atmósfera; véase P. R. Ehrlich, A. H. Ehrlich y J. P. Holdren, *Ecoscience: Population, Resources, Environment*, W. H. Freeman, San Francisco, capítulo 2.

9. R. A. Bryson y W. M. Wendland, «Climatic effects of atmospheric pollution», en S. F. Singer, *Global Effects of Environmental Pollution*, Springer-Verlag, Nueva York, 1970, pág. 130.

10. W. E. Omerod, «Ecological effect of control of African trypanosomiasis», *Science* 191:815-821, 1976; véase también C. Sagan y O. B. Toom y J. B. Pollack, «Anthropogenic albedo changes and the Earth's climate», *Science* 206: 1263-1368, 1979.

11. George Woodwell, «The carbon dioxide question», *Scientific American*, 283(I):34-43, enero de 1978.

12. «Observations for the California Energy Futures Conference», Sacramento, 20 de mayo de 1978. Para una revisión del tema del clima y la agricultura véase S. H. Schneider y L. E. Mesirow, *The Genesis Strategy: Climate and Global Survival*, Plenum, Nueva York, 1976.

13. F. H. Bormann, «An inseparable linkage: Conservation of natural ecosystems and the conservation of fossil energy», *BioScience*, 26:754-760, 1976.

14. Norman Myers, «Development rather than destruction for tropical moist forests», manuscrito del 14 de febrero de 1980 para ser sometido a *New Scientist*.

15. A. H. Gentry y J. López-Parodi, «Deforestation and increased flooding ot the upper Amazon», *Science* 210:1354-1356, 1980.

16. Para más detalles acerca de los suelos, véase *Ecoscience*, op. cit., págs. 252 y ss.

17. Por ejemplo, los requerimientos y las relaciones existentes entre las moscas de la carne que se alimentan de los cadáveres de oveja en Australia son espectacularmente complejas. Algunas especies prefieren alimentarse sólo sobre ovejas recién muertas, mientras que otras son especialistas en cuerpos en avanzado estado de descomposición. Una de estas últimas, *Chrysomia rufifacies* puede impedir que las especies que llegan primero logren completar y compitiendo para ello, por el alimento, su crecimiento y arrojando a las otras especies fuera de los despojos o matándolas directamente. La acción, en lo que puede ser calificado como el ecosistema «oveja muerta», ha sido descrita detalladamente por un grupo de biólogos australianos cuya dedicación a la ciencia supera los mensajes de sus órganos olfativos. Para un resumen de su trabajo acerca de las moscas de la carne puede verse el clásico texto de H. G. Andrewartha y L. C. Birch, *The Distribution and Abundance of Animals*, University of Chicago Press, Chicago, 1954, págs. 449 y ss.

18. *Ecoscience*, op. cit.

19. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, *Agricultural Statistics*, U.S. Government Printing Office, 1977.

20. William Ramírez B., «Host specificity of fly wasps (Agaonidae)», *Evolution* 24:680-691, 1970.

21. C. C. Delwiche, «The nitrogen cycle», *Scientific American* 223(3):137-158, 1970.

22. Para una discusión teórica acerca de las especies clave, así como acerca de otros tópicos de la biología de poblaciones puede consultarse la excelente obra de

NOTAS

Jonathan Roughgarden *Theory of Population Genetics and Evolutionary Ecology: An Introduction*, MacMillan, Nueva York, 1979.

23. R. T. Paine, «Food web complexity and species diversity», *American Naturalist*, 100:65-75, 1966.

24. S. J. McNaughton, «Diversity and stability of ecological communities. A comment on the role of empiricism in ecology», *American Naturalist* III:515-525, 1977.

25. F. H. Bormann, op. cit., pág. 759.

26. S. J. McNaughton, «Serengeti migratory wildebeest: Facilitation of energy flow by grazing», *Science* 191:92-94, 1976.

27. David Hopcraft, «Nature's technology», Mitchell Prize Paper, 1979 (multicopia).

28. D. E. Breedlove y P. H. Ehrlich, «Coevolution: Patterns of legume predation by a Lycaenid butterfly», *Oecologia* 10:99-104, 1972.

29. Para más detalles acerca de este estudio y del modo como es mantenida la variabilidad en las poblaciones vegetales véase P. M. Dolinger, P. R. Ehrlich, W. L. Fitch y D.E. Breedlove, «Alkaloid and predation patterns in Colorado lupine populations», *Oecologia* 13:191-204, 1973.

30. G. F. Edmunds, Jr., y D. N. Alstad, «Coevolution in insect herbivores and conifers», *Science* 199:941-945, 1978; K. B. Sturgeon, «Nonoterpene variation in ponderosa pine xylem resin related to western pine beetle predation», *Evolution* 33:803-814, 1979.

31. J. Artie Browning, «Relevance of knowledge about natural ecosystems to development of pest management programs for agroecosystems», «*Proceedings of the American Phytopathological Society* I:191-199, 1975; Graham Harvey, «The Cambridge strategy», *New Scientist*, 16 de febrero de 1978; págs. 428-429.

CAPÍTULO 6

1. Uno de los dibujos del ataque se reproduce en P. R. Ehrlich, A. H. Ehrlich y J. P. Holdren, *Ecoscience: Population, Resources and Environment*, W. H. Freeman, San Francisco, 1977, pág. 168.

2. Los datos de Murphy proceden de *Logbook for Grace*, Time-Life Books, Nueva York, 1965, pág. 168.

3. El hombre económico ve el futuro a través de cristales de color de dólar. Supongamos, por ejemplo, que uno fuera capaz de manifestar categóricamente que cada pez babosa podría valer un millar de dólares dentro de un siglo. ¿Significaría esto que se podría producir una avalancha de empresarios dispuestos a protegerlo o incluso a domesticarlo y criarlo? La respuesta es, por desgracia, negativa. Los empresarios y los economistas se plantean la cuestión «¿Cuál es el valor actual de un millar de dólares de dentro de un siglo?», cuestión que puede ser también formulada del siguiente modo, «¿Cuánto dinero debería invertir hoy para tener mil dólares dentro de un siglo?» Con un porcentaje de interés anual del 10 %, la respuesta es del orden de siete centavos. El 10 % es un tipo de interés estándar utilizado normalmente para los cálculos del valor actual. La fórmula para calcular el valor actual es $FV/(1+i)^t$ donde FV es el valor futuro, *i* el tipo de interés y *t* el tiempo expresado en años (en tales cálculos el tiempo es, de ordinario, contado anualmente, como

ocurre aquí). De modo que el *valor actual* del pez babosa sería negligible y su valor futuro es «desestimable».

Puesto que la sociedad actual está dominada por la economía, el valor que ésta tiende a colocar en los recursos, incluyendo las especies biológicas, tiende a confundirse con el valor económico actual. Como puede verse, si la tasa de descuento permanece invariable, el valor económico de un recurso decrece a medida que se aleja, el momento de su utilización futura.

Es el concepto económico del valor actual lo que hace «razonable» el intento de llevar las grandes ballenas a la extinción. (Véase Colin W. Clark, «The economics of overexploitation», *Science* 181:630-634, 1973.) La sobreexplotación hasta el extremo de la extinción puede ser justificada económicamente desde el punto de vista de una empresa o país explotador, especialmente en el caso de un recurso de «propiedad pública», como es el de las ballenas que no tienen un dueño o dueños concreto.

4. Science 162:1243-1248, 1968. Para una perspectiva más técnica y optimista véase S. Ciriacy-Wantrup y R. Bishop, «Common property' as a concept in natural resource policy», *Natural Resources Journal* 15:713-727, 1975.

5. La mayoría de los materiales acerca del arenque proceden de *Ecoscience*, op. cit., pág. 363-364.

6. FAO, *State of Food and Agriculture*, 1978 FAO, Roma, 1979, págs. 1-28.

7. Colin W. Clark, *Mathematical Bioeconomics: The Optional Management of Renewable Resources*, Wiley, Nueva York, 1976.

8. G. I. Murphy, «Population biology of the Pacific sardine *(Sardinops caerulea)*. *Proceedings of the California Academy of Sciences* 34:1-84, 1966.

9. J. H. Ryther, «Photosynthesis and fish production in the sea», *Science* 166:72-76, 1969.

10. J. L. McHugh, «Management of estuarine fisheries», en *A Symposium on Estuarine Fisheries*, American Fisheries Society, Washington D.C., 1966.

11. *El origen de las especies*, pág. 72.

12. *The Geographical Distribution of Animals*, vol. I, Macmillan, Londres, 1876, pág. 150.

13. *The World of Life*, Moffat, Yard and Company, Nueva York, 1911.

14. Véase el volumen editado por Paul S. Martin y H. E. Wright, Jr., *Pleistocene Extinction. The Search for a Cause*, Yale University Press, New Haven, 1967; y P. S. Martin, «The discovery of America», *Science* 179:968-974, 1973. Si la causa primaria responsable de las extinciones de la megafauna fue la caza o el clima es un tema todavía controvertido. Para una exposición sumaria de los argumentos de ambos lados véase el excelente trabajo del evolucionista Leigh Van Valen «Late Pleistocene extinctions», *Proceedings of the North American Paleontological Convention* 469-495, 1969.

15. El tema de Predmost se basa, en buena medida, en los materiales de Geoffrey Bibby, *The Testimony of the Spade*, Nueva York, 1956.

16. N. K. Vereschchagin, «Primitive hunters and Pleistocene extinction in the Soviet Union», en Martin y Wright, *Pleistocene Extinction*, op. cit., págs. 388-392.

17. Por ejemplo, John E. Guilday, «Differential extinction during late-Pleistocene and recent time», en Martin y Wright, *Pleistocene Extinction*, op. cit., págs. 121-140, aunque también puede verse Van Valen, op. cit.

18. P. D. Gingerich, «Patterns of evolution in the mammalian fossil record» en A. Hallam ed., *Patterns of Evolution as Illustrated by the Fossil Record*, Elsevier, Amsterdam, 1977, págs. 476-478.

19. J. J. Hester, «The agency of man in animal extinctions», en Martin y

Wright, *Pleistocene Extinction*, op. cit., págs. 178-179.

20. Conversaciones de P. R. E. con Tommy Bruce, Southampton Island, Northwest Territories, 1952; y Asen Balikei, *The Netsilik Eskimo*, Natural History Press, Garden City, N.Y., 1970.

21. Los materiales sobre Aivilingmiut son de P.R.E., no publicados.

22. R. B. Lee I. DeVore, «Problems in the study of hunters and gatherers», en Lee y DeVore, *Man the Hunter*, Aldine, Chicago, 1968, pág. 3.

23. Ibid.

24. W. Craig, «The expression of emotion in pigeons. III. The Passenger Pigeon (*Ectopistes migratorius* Linn.) *Auk* 28:408, 1911.

25. I. L. Brisbin, «The Passenger Pigeon. A study in extinction», *Modern Game Breeding* 4:3-20, 1968.

26. La narración sobre la paloma migratoria se basa esencialmente en Brisbin, op. cit., y en Tim Halliday, *Vanishing Birds: Their Natural History and Conservation*, Hoot, Rinehart and Wiston, Nueva York, 1978. El libro de Halliday está espléndidamente escrito e ilustrado así como bien documentado.

27. T. Halliday, «The Extinction of the Passenger Pigeon *Ectopistes migratorius* and its relevance to contemporary conservation», *Biological Conservation* 17:157-162, 1980.

28. F. G. Roe, *The North American Buffalo: A Critical Study of the Species in the Wild State*, University of Toronto Press, Toronto, 1951.

29. *San Francisco Examiner and Chronicle*, 5 de octubre de 1975.

30. «It witnessed a massacre», *International Wildlife*, enero-febrero de 1980, pág. 29.

31. Michael Weisskopf, «Iran's Wild Casualties», *Defenders*, abril 1980.

32. «Creatures» *Audubon*, mayo 1980, basado en el libro escrito por un burócrata ruso de identidad desconocida (firmado con el pseudónimo Boris Komarov), *The Destruction of Nature in the Soviet Union* (N. F. Sharpe, White Plains, N. Y.).

33. Citado en Marshall, ed., *The Great Extermination: A Guide to Anglo-Australian Cupidity. Wickedness and Waste*. Heinemann, Londres 1966, pág. 19.

34. A. A. Burbidge, *The Status of Kangaroos and Wallabies in Australia*, Australian Government Publishing Service, Canberra, 1977; «New count method could determine kangaroos future», *The Bulletin*, 25 de marzo de 1980; «Will U.S. encourage kangaroo slaughter?» *The Australian*, 12 de mayo de 1980.

35. D. Cousins, «Man's exploitation of the Gorilla», *Biological Conservation* 13:287-296, 1978.

36. Las estadísticas del Gabón son del Population Reference Bureau, *World Population Data Sheet*, 1979.

37. Carta recibida el 6 de febrero de 1980.

38. Cara a Russell Train, 21 de enero de 1980.

39. *IUCN Bulletin*, septiembre de 1978, pág. 152.

40. Las estadísticas de 1970 son de *Biological Conservation*, vol. 4, n.º 1, octubre de 1971. La estima para 1979 se obtuvo por extrapolación de la cifra de más de 300 millones de importaciones de vida salvaje en aquel año; *Defenders*, febrero de 1980; las cifras de los parágrafos siguientes tienen la misma procedencia.

41. A. S. Johnson, «The snaker's game», *Defenders*, febrero de 1980; *IUCN Red Data Book*, 1975.

42. I. F. Spellerberg, «The amphibiam and reptile trade with particular reference to collecting in Europe», *Biological Conservation* 10:221-232, 1976; *IUCN Red Data Book*, 1975.

43. Halliday, *Vanishing Birds*, op. cit., pág. 44.

44. F. Campbell y J. Tarr, «The international trade in plants is still un regularet» *National Parks and Conservation Magazine*, abril, 1980.

45. Ibid.

46. *New Scientist*, 3 de abril de 1980.

47. Los casos de saxífraga y *Rafflesia* están tomados de *IUCN Bulletin*, febrero de 1979.

48. «On the disadvantages of wearing fur», en J. Marshall, ed., *The Great Extermination*, op. cit.

49. La información acerca de la pantera de las nieves y los tigres procede de Simon y Géroudet, *Last Survivors: The Natural History of Animals in Danger of Extinction*, World Publishing Company, Nueva York, 1970; págs. 114-131; e *IUCN Bulletin*, mayo 1979, págs. 136-137.

50. Por ejemplo, véase Kai Curry-Lindahl, *Let Them Live. A Worldwide Survey of Animals Threatened with Extinction*, William Morrow, Nueva York, 1972.

51. Norman Myers, «The Cheetah in Africa under threat», *Environmental Affairs* 5:617-647, 1976.

52. *IUCN Red Data Book*, 1975.

53. *IUCN Bulletin*, abril 1980.

54. *Sunday Nation*, Nairobi, Kenia, 16 de abril de 1980; *IUCN Bulletin*, enero/febrero, 1980.

55. En libro de bolsillo Dell, Nueva York, 1965.

56. Parte de la información sobre los coyotes procede de un seminario de R. Cassin, Department of Biological Sciences, Stanford University, 5 de junio de 1980.

57. La información sobre el elefante de Ceilán es de Simon y Géroudet, *Last Survivors*, op. cit., págs. 132-139.

BIBLIOTECA CIENTÍFICA SALVAT

1. **Stephen Hawking.** *Una vida para la ciencia.* Michael White y John Gribbin
2. **La verdadera historia de los dinosaurios.** Alan Charig
3. **La explosión demográfica.** *El principal problema ecológico.* Paul R. Ehrlich y Anne H. Ehrlich
4. **El monstruo subatómico.** *Una exploración de los misterios del Universo.* Isaac Asimov
5. **El gen egoísta.** *Las bases biológicas de nuestra conducta.* Richard Dawkins
6. **La evolución de la física.** Albert Einstein y Leopold Infeld
7. **El secreto del Universo.** *Y otros ensayos científicos.* Isaac Asimov
8. **Qué es la vida.** Joël de Rosnay
9. **Los tres primeros minutos del Universo.** Steven Weinberg
10. **Dormir y soñar.** *La mitad nocturna de nuestras vidas.* Dieter E. Zimmer
11. **El hombre mecánico.** *El futuro de la robótica y la inteligencia humana.* Hans Moravec
12. **La superconductividad.** *Historia y leyendas.* Sven Ortoli y Jean Klein
13. **Introducción a la ecología.** *De la biosfera a la antroposfera.* Josep Peñuelas
14. **Miscelánea matemática.** Martin Gardner
15. **El Universo desbocado.** *Del Big Bang a la catástrofe final.* Paul Davies
16. **Biotecnología.** *Una nueva revolución industrial.* Steve Prentis
17. **El telar mágico.** *El cerebro humano y la computadora.* Robert Jastrow
18. **A través de la ventana.** *Treinta años estudiando a los chimpancés.* Jane Goodall
19. **Einstein.** Banesh Hoffmann
20. **La doble hélice.** *Un relato autobiográfico sobre el descubrimiento del ADN.* James Watson
21. **Cien mil millones de soles.** *Estructura y evolución de las estrellas.* Rudolf Kippenhahn
22. **El planeta viviente.** *La adaptación de las especies a su medio.* David Attenborough
23. **Evolución humana.** Roger Lewin
24. **El divorcio entre las gaviotas.** *Lo que nos enseña el comportamiento de los animales.* William Jordan
25. **Lorenz.** Alec Nisbett

26. **Mensajeros del paraíso.** *Las endorfinas, drogas naturales del cerebro.* Charles F. Levinthal
27. **El Sol brilla luminoso.** Isaac Asimov
28. **Ecología humana.** *La posición del hombre en la naturaleza.* Bernard Campbell
29. **Sol, lunas y planetas.** Erhard Keppler
30. **Los secretos de una casa.** *El mundo oculto del hogar.* David Bodanis
31. **La cuarta dimensión.** *Hacia una geometría más real.* Rudy Rucker.
32. **El segundo planeta.** *El problema del aumento de la población mundial.* U. Colombo y G. Turani
33. **La mente (I).** Anthony Smith
34. **La mente (II).** Anthony Smith
35. **Introducción a la química.** Hazel Rossotti
36. **El envejecimiento.** David P. Barash
37. **Edison.** Fritz Vögtle
38. **La inestable Tierra.** *Pasado, presente y futuro de las catástrofes naturales.* Basil Booth y Frank Fitch
39. **Gorilas en la niebla.** *13 años viviendo entre los gorilas.* Dian Fossey
40. **El espejo turbulento.** *Los enigmas del caos y el orden.* John Briggs y F. David Peat
41. **El momento de la creación.** *Del Big Bang hasta el Universo actual.* James S. Trefil
42. **Dios y la nueva física.** Paul Davies
43. **Evolución.** *Teorías sobre la evolución de las especies.* Wolfgang Schwoerbel
44. **La enfermedad, hoy.** Lluís Daufí
45. **Iniciación a la meteorología.** Mariano Medina
46. **Los niños de Urania.** *En busca de las civilizaciones extraterrestres.* Evry Schatzman
47. **Amor y odio.** *Historia natural del comportamiento humano.* Irenäus Eibl-Eibesfeldt
48. **Matemáticas e imaginación (I).** Edward Kasner y James Newman
49. **Matemáticas e imaginación (II).** Edward Kasner y James Newman
50. **Darwinismo y asuntos humanos.** Richard Alexander
51. **La explosión de la relatividad.** Martin Gardner
52. **Las plantas.** *Amores y civilizaciones vegetales.* Jean-Marie Pelt
53. **La Tierra en movimiento.** John Gribbin
54. **Orígenes.** *Lo que sabemos actualmente sobre el origen de la vida.* Robert Shapiro
55. **Los rituales amorosos.** *Un aspecto fundamental en la comunicación de los animales.* Eberhard Weismann
56. **Del pez al hombre.** Hans Hass
57. **La liebre y la tortuga.** *Cultura, biología y naturaleza humana.* David P. Barash
58. **La frontera del infinito.** *De los agujeros negros a los confines del Universo.* Paul Davies
59. **Las flechas del tiempo.** *Una visión científica del tiempo.* Richard Morris
60. **La naturaleza inacabada.** *Ensayos en torno a la evolución.* Francisco J. Ayala
61. **Darwin.** Julian Huxley y H. B. D. Kettlewell
62. **Fórmulas del éxito en la naturaleza.** *Sinergética: la doctrina de la acción de conjunto.* Hermann Haken
63. **Otros mundos.** *El espacio y el Universo cuántico.* Paul Davies
64. **El panorama inesperado.** *La naturaleza vista por un físico.* James S. Trefil
65. **Los alimentos y la salud.** Organización Mundial de la Salud
66. **En busca del gato de Schrödinger.** *La fascinante historia de la mecánica cuántica.* John Gribbin
67. **Leyendas de la Tierra.** Dorothy Vitaliano
68. **Tomándose a Darwin en serio.** *Implicaciones filosóficas del darwinismo.* Michael Ruse
69. **Los sonámbulos (I).** *Los fundadores de la astronomía moderna.* Arthur Koestler
70. **Los sonámbulos (II).** *Los fundadores de la astronomía moderna.* Arthur Koestler
71. **Cómo se comunican los animales.** Heribert Schmid
72. **El amanecer cósmico.** *Orígenes de la materia y la vida.* Eric Chaisson
73. **Cerebro y psique.** Jonathan Winson
74. **Superfuerza.** Paul Davies
75. **El clima futuro.** John Gribbin
76. **Doce pequeños huéspedes.** *Vida y costumbres de unas criaturas «insoportables».* Karl von Frisch
77. **Los secretos de la psicología.** D. Coleman y J. Freedman
78. **El escarabajo sagrado (I).** *Y otros grandes ensayos sobre la ciencia.* Martin Gardner.
79. **El escarabajo sagrado (II).** *Y otros grandes ensayos sobre la ciencia.* Martin Gardner
80. **Luz del confín del Universo.** *El Universo y sus inicios.* Rudolf Kippenhahn
81. **Rompecabezas y paradojas científicos.** Christopher P. Jargocki
82. **La construcción de la era atómica.** Alwyn McKay
83. **Cazadores de microbios.** Paul de Kruif
84. **En busca de la doble hélice.** *La evolución de la biología molecular.* John Gribbin
85. **Naturalistas curiosos.** Niko Tinbergen

86. **En busca de las ondas de gravitación.** Paul Davies
87. **La creación.** Peter W. Atkins
88. **Guerra y paz.** *Una visión de la etología.* Irenäus Eibl-Eibesfeldt
89. **Claves ciertas.** *Física cuántica, biología molecular y el futuro de la ciencia.* Gerald Feinberg
90. **La radiactividad artificial.** P. Radvanyi y M. Bordry
91. **El legado de Darwin.** Brian Leith
92. **Las raíces de la vida.** *Genes, células y evolución.* Mahlon B. Hoagland
93. **Ramón y Cajal.** José M.ª López Piñero
94. **Génesis.** *Los orígenes del hombre y del Universo.* John Gribbin
95. **Patrones y pautas en la naturaleza.** Peter S. Stevens
96. **Marie Curie.** Robert Reid
97. **La vida, un estadio intermedio.** Carsten Bresch
98. **Extinción (I).** *La desaparición de las especies vivientes en el planeta.* Paul R. Ehrlich y Anne H. Ehrlich

